

**DISEÑO DE LA AUTOMATIZACION PARA UNA FRESADORA  
CONVENCIONAL**

**CESAR AUGUSTO SANCHEZ ROBLEDO  
JAIME HUMBERTO CORTES RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**DISEÑO DE LA AUTOMATIZACION PARA UNA FRESADORA  
CONVENCIONAL**

**CESAR AUGUSTO SANCHEZ ROBLEDO  
JAIME HUMBERTO CORTES RODRIGUEZ**

**Pasantía institucional para optar al Título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director  
JIMMY TOMBE ANDRADE  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**Nota de Aceptación:**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingenieros Mecatrónicos

**JUANCARLOS MENA**

**Jurado**

**JESUS ALFONSO LOPEZ**

**Jurado**

**Santiago de Cali, 20 de febrero de 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Sinceros agradecimiento a las personas que nos colaboraron en el desarrollo de este proyecto, al ingeniero Jimmy Tombe quien fue nuestro director de pasantía ayudándonos a resolver las tantas inquietudes que se iban presentando a lo largo del desarrollo del proyecto, a los demás profesores y colaboradores de la universidad Autónoma de Occidente en especial al ingeniero Adolfo Ortiz ya que con sus enseñanzas en el área de automatización se pudo llevar a feliz término este proyecto

Al señor Freddy Morcillo dueño y gerente general de E.P.I Ltda. Por la confianza de depósito en nosotros y toda la ayuda que nos brindó para la realización del proyecto

Y en especial a nuestras familias por todo el apoyo brindado al comienzo y durante nuestros estudios para así lograr obtener el título de Ingenieros Mecatrónicos

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCION	15
1. MARCO DE REFERENCIA	16
1.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DE E.P.I LTDA	16
1.2. RESEÑA HISTORICA DE E.P.I LTAD	16
1.3. FUNDAMENTACION FILOSOFICA DE E.P.I LTDA	16
1.3.1. Misión	16
1.3.2. Visión	16
1.3.3. Objetivos estratégicos	16
1.4. POLITICA DE CALIDAD	17
1.4.1. Objetivos de Calidad	17
1.4.2. Análisis de E.P.I. LTDA. En relación con la tecnología actual	18
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	21
2.1. SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA	21
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO EN EL CUAL EXISTE EL PROBLEMA	21
2.3. OBJETIVOS	23
2.3.1. Objetivo General	23
2.3.2. Objetivos Específicos	23

2.4.	JUSTIFICACION.	23
3.	MARCO TEORICO	25
4.	PLANTEAMIENTO DE LA MISION	33
4.1.	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	33
4.2.	PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING	33
4.3.	MERCADO PRIMARIO	33
4.4.	MERCADO SECUNDARIO	33
4.5.	PREMISAS Y RESTRICCIONES	33
4.6.	PARTES IMPLICADAS.	34
4.6.1.	Compradores y Usuarios	34
4.6.2.	Distribuidores y Compradores	34
5.	LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE.	35
6.	METRICAS Y SUS UNIDADES.	36
7.	QFD	37
8.	ANALISIS DE LA QFD	38
9.	GENERACION DE CONCEPTOS	39
9.1.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	39
9.1.1.	Caja Negra	39
9.1.2.	Descomposición Funcional	40

9.2.	BÚSQUEDA INTERNA	40
9.3.	EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA	41
9.4.	REFINAMIENTO DE LA DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	43
10.	SELECCIÓN DE CONCEPTO	44
11.	METODOLOGIA	45
12.	DESARROLLO DEL PROYECTO	46
12.1.	EJE X Y EJE Y	46
12.1.1.	Peso que soporta el eje X y el eje Y	46
12.2.	SELECCIÓN HUSILLO DE BOLAS	47
12.3.	RECOMENDACIONES MONTAJE HUSILLO DE BOLAS	50
12.3.1.	Cargas radiales y puntuales	50
12.3.2.	Alineación	51
12.3.3.	Lubricación	51
12.3.4.	Introducción de la tuerca en el eje del husillo	52
12.3.5.	Arranque del husillo	52
12.4.	CÁLCULOS PARA HALLAR TORQUE EJE X Y EJE Y	53
12.4.1.	Velocidad del Motor.	53
12.4.2.	Torque de Fricción	53
12.4.3.	Par de carga reflejado en el Servomotor	53
12.4.4.	Calculo de la inercia reflejada de la carga	54
12.4.5.	Calculo de la inercia del tornillo	54

12.4.6. Inercia total	54
12.4.7. Calculo de la tasa de aceleración	54
12.4.8. Calculo Torque	55
12.5. Eje Z	55
12.5.1. Calculo de la carga en el eje Z.	55
12.5.1.1.Calculo del volumen Porta Herramientas	55
12.5.1.2.Calculo del momento de inercia porta herramientas	56
12.5.1.3.Velocidad lineal porta herramientas	56
12.5.1.4.Velocidad angular porta herramientas	57
12.5.1.5.Aceleración angular porta herramientas	57
12.5.1.6.Calculo del torque	57
12.6. SELECCIÓN SERVOMOTOR	57
12.7. SELECCIÓN DRIVE	60
12.8. SELECCIÓN DEL PLC HMI	64
12.8.1. Características SINUMERIK 802S base line	65
12.8.2. Programación SINUMERIK 802S base line	68
12.8.3. Herramienta de Gestión	69
12.8.4. Programa PLC	70
12.9. INTEGRACION COMPONENTES	71
12.9.1. Beneficios	71
13. DISEÑO 3D	73
14. CONCLUSIONES	76



BIBLIOGRAFIA

77

ANEXOS

79

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis DOFA	18
Tabla 2. Estrategias DOFA	19
Tabla 3. Lista de Necesidades	35
Tabla 4. Lista de Métricas y sus Unidades	36
Tabla 5. Tabla Combinación de Conceptos	43
Tabla 6. Datos Técnicos Husillo de Bolas	49
Tabla 7. Datos Técnicos Servomotor 1FL5	59
Tabla 8. Datos Técnicos Drive SINAMICS V60	62

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Línea de Tafilite	22
Figura 2 Fresadora Manual	25
Figura 3 Software para Mecanizado	28
Figura 4. QFD	37
Figura 5. Lista de Necesidades	38
Figura 6. Caja Negra	39
Figura 7. Descomposición Funcional	40
Figura 8.Árbol de clasificación de conceptos 1	41
Figura 9.Árbol de clasificación de conceptos 2	42
Figura 10. Árbol de clasificación de conceptos 3	42
Figura 11. Refinamiento de la Descomposición Funcional	43
Figura 12. Husillo de Bolas	47
Figura 13. Husillo de Bolas 7832777 Metric Fineline Rolled FK Ball Nut	49
Figura 14. Cargas Radiales y Puntuales	51
Figura 15. Introducción de la tuerca en el eje del husillo	52
Figura 16. Servomotor 1FL5	58
Figura 17. Plano Servomotor 1FL5	60
Figura 19. Conexiones SINAMICS V60	63
Figura 20. Cables conexión	64
Figura 21. SINUMERIK 802S base line	65

Figura 22. Programación	68
Figura 24. Programa Escalera	70
Figura 25. Integración Componentes	71
Figura 26. Diseño 3D Vista Frontal	73
Figura 27. Diseño 3D Vista Superior	74
Figura 28. Diseño 3D Vista Lateral	75

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cotización siemens	79
Anexo B. Garantía y asistencia siemens	80
Anexo C. Cotización husillos de bolas	81

## RESUMEN

La fresadora convencional existente en la empresa es completamente manual, se utiliza para mecanizar moldes con los cuales se fabrican tafiletes, este proceso es lento y poco preciso ocasionando pérdidas de materia prima y tiempo trabajado por el operador, lo cual afecta económicamente y en materia de seguridad a la empresa, por tal razón se decidió realizar la automatización del proceso

Para obtener un excelente posicionamiento en el mercado nacional e internacional en cuanto a productividad, las empresas en este mercado globalizado y moderno deben desarrollar innovaciones tecnológicas, que les permitan aumentar su competitividad en sus diferentes áreas de producción, para desarrollar o implementar maquinaria acorde y compatible a las necesidades de la empresa como a las de su entorno.

Percibiendo a la tecnología como un factor crítico para permanecer y crecer en el mercado; es así como la empresa EPI Ltda. Está interesada en planear desde el punto de vista tecnológico y se adentra a incluir entre su planeación estratégica el siguiente proyecto que nace de la investigación, interna y externa de la empresa.

**Palabras clave:** fresadora convencional, fresadora CNC, calculo masa, calculo torque, husillo de bolas, servomotor, servo drive, control PLC, HMI.

## INTRODUCCION

Después de la revolución industrial las industrias han sido un gran motor del desarrollo tecnológico ya que en su fin de crear productos mucho más rápido a menor coste y de excelente calidad recurren a buscar nuevos métodos de producción en ese largo camino han logrado procesos más autónomos donde se requiere cada vez menos el involucramiento de muchos obreros con el proceso productivo al contrario se requieren pocos operarios altamente calificados. A esta transformación se le denomina automatización y esta permite repetitividad, rapidez, disminución de costos en las industrias etc.

En los ambientes automatizados se pueden encontrar maquinas herramientas como las CNC o maquinas de control numérico contraparte de las fresadoras manuales, las CNC permiten realizar operaciones de maquinado de piezas con una gran variedad de materiales que pueden ir desde un tornillo hasta piezas más complejas de aviones, automóviles u otras maquinas. La importancia de estas maquinas dentro de la automatización reside en su flexibilidad ya que con una sola maquina se pueden realizar un gran número de piezas, en su velocidad de producción ya que operan a altas velocidades lo que no se podría lograr con un obrero en una fresadora manual facilitando la estandarización de piezas. Aunque el costo de estas maquinas es bastante alto por lo que se requiere un gran volumen de producción para mitigar sus costos y la inversión inicial, debido a esto en este proyecto se plantea el diseño de la automatización de una fresadora manual para la empresa EPI LTDA recurriendo a todas las competencias adquiridas durante la carrera para llevar a buen término este proyecto logrando un diseño altamente eficiente

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DE E.P.I LTDA**

E.P.I Ltda. se encuentra ubicada en la calle 32 # 2c – 51 barrio Porvenir en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia

### **1.2. RESEÑA HISTORICA DE E.P.I LTAD**

Es una empresa Colombiana fundada en el año de 1.994 especializada en la fabricación de productos de protección personal para la seguridad industrial, con cubrimiento en el territorio Colombiano y exportando a países vecinos.

E.P.I. LTDA le ofrece a todos sus clientes, productos de excelente calidad, elaborados mediante procesos y tecnología de última generación, brindando así un excelente servicio y un gran cumplimiento. E.P.I. LTDA cuenta con personal comprometido, de excelentes actitudes y aptitudes tanto para la fabricación de los productos como para el servicio y atención al cliente.

### **1.3. FUNDAMENTACION FILOSOFICA DE E.P.I LTDA**

**1.3.1. Misión:** E.P.I. Ltda., es una empresa dedicada a fabricar y comercializar equipos de protección personal, contando con talento humano capacitado y comprometido. Brindando productos y servicios de calidad a nuestros distribuidores y usuarios finales a nivel nacional e internacional.

**1.3.2. Visión:** Para el año 2011 E.P.I. será reconocida a nivel nacional entre las 2 principales marcas que se encuentren en el mercado de equipos para trabajo en altura.

#### **1.3.3. Objetivos estratégicos**

- Dar a conocer los productos a nivel nacional e internacional con el fin de posicionarse en el mercado



- producir y comercializar productos de protección personal con los más altos estándares de calidad, con el fin de buscar el mejoramiento continuo de los procesos para obtener la certificación.
- Mejorar los procesos internos, elevar los niveles de calidad, reducir costos e incrementar el nivel de producción.
- Generar rentabilidad a la empresa, produciendo con calidad de producto y excelentes servicio al cliente.

#### **1.4. POLITICA DE CALIDAD**

En E.P.I. LTDA estamos comprometidos con el mejoramiento continuo, fabricando equipos de protección personal con excelente calidad, garantizando la entrega oportuna, brindando capacitación a los colaboradores y cumpliendo la normatividad vigente, para satisfacer así las necesidades y expectativas de nuestros clientes, logrando el reconocimiento de la organización en el mercado.

##### **1.4.1. Objetivos de Calidad**

- Buscar la rentabilidad de cada uno de nuestras áreas y mantener la competitividad en costos, calidad y servicio.
- Fabricar equipos de protección personal de la mejor calidad
- Satisfacer adecuadamente las necesidades de los clientes
- Garantizar la entrega oportuna de nuestros productos.
- Brindar la capacitación necesaria a nuestros colaboradores.
- Cumplir con la normatividad vigente.

#### 1.4.2. Análisis de E.P.I. LTDA. En relación con la tecnología actual

**Tabla 1 Análisis DOFA**

<b>DEBILIDADES</b>	D1. La logística en la distribución para los distribuidores es demorada.
	D2. Tecnología básica en el área de producción.
	D3. Personal capacitado necesita de mucho entrenamiento.
	D4. Competir con empresas ya consolidadas en el mercado global.
<b>OPORTUNIDADES</b>	O1. Creatividad e innovación al momento de prestar sus servicios
	O2. Tendencia en nuevos puntos de ventas a nivel nacional.
	O3. Crear cedes para una mayor cobertura a nivel regional y nacional.
<b>FORTALEZAS</b>	F1. Experiencia en la producción de todo tipo de productos para la seguridad industrial.
	F2. Canal de distribución institucional y directamente con el cliente.
	F3. Productos de alta calidad.
	F4. Ventas mensuales que superan las metas propuestas.
	F5. Clientes idealizados
<b>AMENAZAS</b>	A1. La crisis social en que se encuentra sumergida la ciudad de Cali.
	A2. Competencia con mayor grado tecnológico y con miras a exportar.
	A3. Los índices de inseguridad en el sector donde se ubica la fábrica.
	A4. Vulnerabilidad ante grandes empresas prestadoras del mismo servicio.

**Tabla 2.Estrategias DOFA**

<b>ESTRATEGIAS</b>		
	<b>DEBILIDADES</b>	<b>FORTALEZAS</b>
<b>OPORTUNIDADES</b>	O3-D1. Reformar la distribución logística de los productos, corrigiendo y renovando la planeación de rutas.	O2-F3. Elaboración de productos con alta grado de calidad que permita posicionar a la empresa en el mercado nacional.
	O1-D2. Gracias a la creatividad e innovación de la empresa al momento de prestar sus servicios esta puede llegar a más clientes, incrementando la producción a través de implementación de nueva tecnología, la cual permitirá optimizara los recursos.	
<b>AMENAZAS</b>	A2-D2. La empresa requiere de una análisis profundo en su transformación hacia su tecnología, ya que para poder ser competitiva requiere de una mayor producción con calidad, la cual es conveniente implementar acciones de desarrollo tecnológico o transferencia tecnológica.	A2-F3. Para que la empresa pueda exportar sus productos y estar al nivel de sus competidores, es necesario implementar nueva tecnología que le permitiría incrementar la producción con alta calidad en sus servicios convirtiendo.
	A4-D4. Para que la empresa sea competitiva en el mercado globalizado y este a la par de las grandes empresas necesita superar la barrera tecnológica, buscando desarrollar productos innovadores con alta calidad que le permitan	A1-F5. Incentivar a los clientes, con mejores tarifas y tiempos de entrega, de igual forma con créditos.

	competir con empresas consolidadas en el mercado global.	
		A3-F5. Aprovechar el canal directo con el cliente, para brindar asesoría en los productos y así recoger sugerencias de ellos, para mejoras futuras.

Después de realizar el análisis DOFA se puede observar que se tiene una deficiencia tecnológica que ha generado una barrera de estancamiento competitivo de la empresa en el mercado tanto regional como nacional, ocasionado con ello que las ventajas competitivas no se hayan logrado por los avances tecnológicos si no por otros factores; por lo tanto se puede afirmar que incluyendo avances y cambios tecnológicos obtendrían eficiencias y mejoras en los procesos de producción.

## **2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

En la empresa E.P.I. LTDA existe una fresadora manual la cual se utiliza para construir los modelos en los cuales posteriormente se realiza la inyección o fundición de materia prima para producir diferentes tipos de piezas, el problema a resolver es que este dispositivo es operado manualmente, haciendo el proceso lento y poco preciso ocasionando pérdidas de materia prima y tiempo trabajado por el operador lo cual afecta económicamente a la empresa, adicionalmente en esta máquina tampoco se pueden fabricar determinadas piezas por ser excesivamente complejas para ser controladas por un operador humano generando que la empresa pierda competitividad frente a sus competidores

### **2.1. SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA**

- Identificar el sistema mecánico de la fresadora convencional
- Identificar el sistema eléctrico de la fresadora convencional
- Verificar y analizar el estado de los sistemas que componen la fresadora convencional
- Identificar el entorno en el cual se desenvuelve la maquina fresadora convencional

### **2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO EN EL CUAL EXISTE EL PROBLEMA**

La operación inicia en la elaboración de los moldes para la pieza, para el modelado se usa la fresadora (1), luego se procede a la extracción de la materia prima (Polietileno) almacenada (2), después la mezcla de Polietileno es usado a altas temperaturas en una máquina que se encarga de llenar el molde (3), en esta máquina la temperatura baja y por medio de un pistón se finaliza el tafilete (4), por ultimo cae la pieza y el operario se encarga de retirarla de la maquina (5).

**Figura 1. Línea de Tafilete**



En la figura 1, se muestra el proceso para la elaboración de tafilete, seguir el orden de la enumeración en el párrafo anterior.

- **Elaboración del molde:** En la elaboración del molde se usa una fresadora, el diseño del tafilete es elaborado por ingenieros para mejorar la seguridad y el confort del usuario.
- **Extracción del material:** Para la extracción del material se usa un tubo que succiona la mezcla de Polietileno es almacenado, por medio de la neumática.
- **Llenado del molde:** El la mezcla de Polietileno es elevado a 110°C temperatura a la cual el material supera su punto de ebullición, al estar liquido se vierte sobre el molde y se deja reposar para que alcance una temperatura ambiente que le permite su solidificación.
- **Ejecución de la pieza:** Se realiza con el material solidificado sobre el molde, la máquina posee un pistón que ejerce una fuerza sobre la pieza contra el molde ejecutando el tafilete.

- **Recolección del tafilete:** Este proceso es manual, la maquina deja caer el tafilete sobre una bandeja en la cual el operario se encarga de recoger el tafilete y organizarlo sobre una mesa.

## **2.3. OBJETIVOS**

**2.3.1. Objetivo General.** Diseñar la automatización para una fresadora convencional

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

- **Análisis del funcionamiento actual de la maquina fresadora:** la maquina se encuentra operando en modo manual, se observa el modo en que los operarios la manipulan para posteriormente analizar una posible solución de automatización.
- **Identificación y estudio de posibles soluciones:** Identificar tareas a desarrollar, precauciones y recomendaciones sobre puntos estratégicos para la puesta en marcha del diseño, relacionado con el proceso de maquinado ya que dentro del mercado actual, se cuenta con gran variedad de productos automatizados que cumplen con todas las características que se requiere para el desarrollo del proyecto, se deben estudiar todas las propuestas para así escoger la que mejor encaje dentro de las limitaciones y ventajas de la maquina fresadora convencional.
- **Diseño de la estrategia de control:** según el estudio de las posibles selecciones y posterior selección de una de ellas, se selecciona la unidad de control que se encargara de la comunicación entre la maquina fresadora y computadora incluyendo la selección del software adecuado para las maquinas CNC

## **2.4. JUSTIFICACION.**

Se busca con este proyecto realizar un diseño eficiente que le permita a la empresa EPI LTDA cuando implemente el diseño mejoras en sus procesos productivos y aumentar su competitividad.

Al realizar la automatización se centralizaría el mando y monitoreo del proceso de mecanizado, aumentando la producción y disminuyendo el tiempo de mecanizado de la pieza.

El sistema permitiría observar las fallas presentadas en el proceso de producción y se actuaría de manera inmediata dependiendo de la gravedad de esta.

Brindara modos de funcionamiento automático, sin la necesidad de tener a el operario en todo momento supervisándolo, también informa el estado del proceso y de los elementos que lo conforman.

Facilita el control del proceso de mecanizado y todas sus variables gracias a que tiene un programa amigable, el cual puede ser manejado por cualquier operario.

La automatización beneficiara a la empresa y a sus trabajadores ya que incrementa la seguridad. Mejora la disponibilidad de los productos

También se pretende generar una oportunidad de negocio automatizando este tipo de maquinas dándole la oportunidad a un coste accesible a medianas y pequeñas empresas de automatizar procesos donde utilizan estas maquinas herramientas debido al alto coste de una maquina CNC nueva.

Finalmente permitirá ampliar nuestros conocimientos sobre las fresadoras, características, partes, materiales, etc. Lo que nos permitirá mayores competencias sobre su funcionamiento y por lo tanto un mayor bagaje profesional aumentando nuestra competitividad.

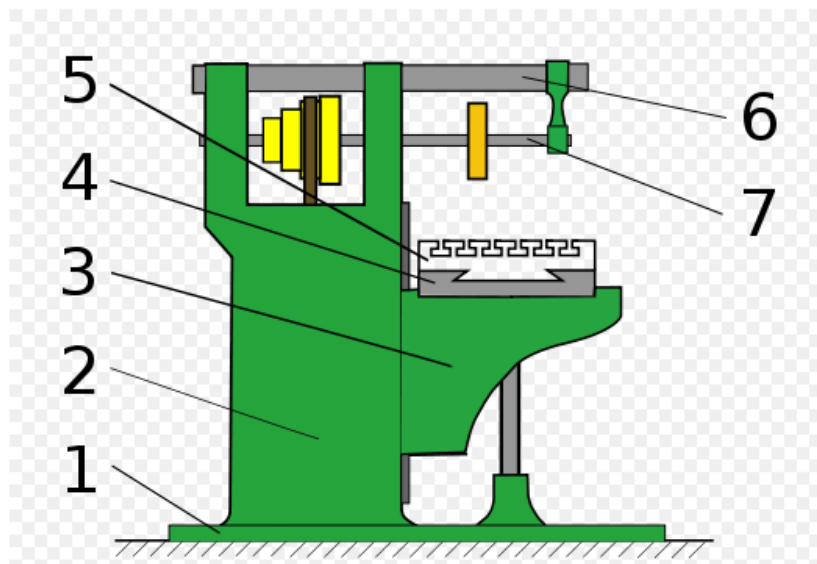


### 3. MARCO TEORICO

Para realizar este proyecto debemos tomar como base la documentación existente de las fresadoras manuales y las fresadoras-CNC además de proyectos realizados anteriormente sobre este tema.

Nos tendremos que apropiiar de conceptos como lo son control numérico, como funcionan las herramientas que necesitamos para diseñar un controlador numérico y como implementarlo también, se aplicaran conceptos como instrumentación, automatización, sistemas de control y el manejo de lenguajes de programación de alto nivel como java, visual Basic, visual c++, etc. Para tal fin se hará uso de la materia bibliográfica que tiene la universidad así como también se tendrá la tutoría de un director acreditado por la universidad; para lograr un diseño altamente eficiente debemos integrar todas estas temáticas llegando así a un diseño muy competitivo que nos permita dar un gran aporte a nuestra sociedad como una herramienta altamente útil y económica para automatizar parcial o totalmente sus procesos de mecanizado de piezas donde lo requieran aumentado así su capacidad de producción, la calidad en sus productos y por lo tanto su competitividad.

**Figura 2. Fresadora Manual**



- 1 Base.
- 2 Columna
- 3 Consola
- 4 Carro transversal
- 5 Mesa
- 6 Puente
- 7 Eje portaherramientas

Fresadora manual: Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa

Fresadora CNC: Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) permiten la automatización programable de la producción. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos; su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar así como el sistema de sujeción de las piezas; el equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos *G* (movimientos y ciclos fijos) y *M* (funciones auxiliares); estos números, letras y símbolos, los cuales llegan a incluir *&*, *%*, *\$* y *"* (comillas), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta; cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones; en las grandes producciones en serie, el control numérico resulta útil para la robotización de la alimentación y retirada de las piezas mecanizadas

Las fresadoras universales modernas cuentan con visualizadores electrónicos donde se muestran las posiciones de las herramientas, según un sistema de coordenadas, y así se facilita mejor la lectura de cotas en sus desplazamientos; asimismo, a muchas fresadoras se les incorpora un sistema de control numérico por computadora (CNC) que permite automatizar su trabajo; además, las fresadoras copiadoras incorporan un mecanismo de copiado para diferentes perfiles de mecanizado.

Existen varios lenguajes de programación CNC para fresadoras, todos ellos de programación numérica, entre los que destacan el lenguaje normalizado internacional ISO y los lenguajes heidenhain, Fagor y Siemens. Para desarrollar

un programa de CNC habitualmente se utilizan simuladores que, mediante la utilización de una computadora, permiten comprobar la secuencia de operaciones programadas.

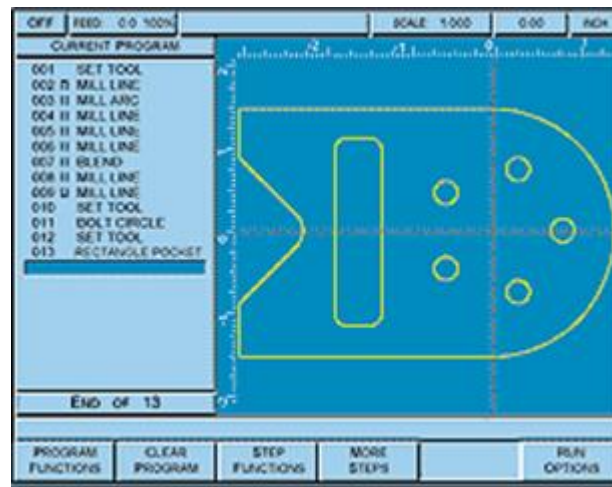
CNC: Se considera de control numérico por computador, también llamado CNC a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos; por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10mm por lado se le darían los siguientes códigos:

G90		G71
G00	X0.0	Y0.0
G01		X10.0
G01		Y10.0
G01		X0.0
G01 Y0.0		

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado; dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en altorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico un molde de inyección de una cuchara o una botella lo que se quiera.

**Figura 3 Software para Mecanizado**



Al principio hacer un programa de maquinado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer; era un proceso que podía durar horas, días, semanas; aún así era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

Actualmente muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como "lenguaje conversacional" en el que el programador escoge la operación que desea y la máquina le pregunta los datos que se requieren.

Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos; por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc.

Algunos controles incluso cuentan con graficación en pantalla y funciones de ayuda geométrica; todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla.

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática; en el sistema CAD (diseño asistido por computadora) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido; posteriormente el sistema CAM (manufactura asistida por computadora) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta

de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Hoy día los equipos CNC con la ayuda de los lenguajes conversacionales y los sistemas CAD/CAM, permiten a las empresas producir con mucha mayor rapidez y calidad sin necesidad de tener personal altamente especializado.

Ventajas del control numérico: Las ventajas, dentro de los parámetros de producción explicados anteriormente son:

Posibilidad de fabricación de piezas imposibles o muy difíciles. Gracias al control numérico se han podido obtener piezas muy complicadas como las superficies tridimensionales necesarias en la fabricación de aviones.

Seguridad. El control numérico es especialmente recomendable para el trabajo con productos peligrosos.

Precisión. Esto se debe a la mayor precisión de la máquina herramienta de control numérico respecto de las clásicas.

Aumento de productividad de las máquinas. Esto se debe a la disminución del tiempo total de mecanización, en virtud de la disminución de los tiempos de desplazamiento en vacío y de la rapidez de los posicionamientos que suministran los sistemas electrónicos de control.

Reducción de controles y desechos. Esta reducción es debida fundamentalmente a la gran fiabilidad y repetitividad de una máquina herramienta con control numérico. Esta reducción de controles permite prácticamente eliminar toda operación humana posterior, con la subsiguiente reducción de costos y tiempos de fabricación.

Instrumentación: es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los aparatos electrónicos y eléctricos, sobre todo para su uso en mediciones.

La instrumentación electrónica se aplica en el censado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

Sistemas de control: son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso; en un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta, y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación.

Java: es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90; el lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a eventos, desarrollado por el alemán Alan Cooper para Microsoft; este lenguaje de programación es un dialecto de basic, con importantes agregados; su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma.

Formulas necesarias para calcular el torque

$S_m(rpm)$  = velocidad motor

$V_1(cm/min)$  = velocidad en el vacío.

$P (rev/in)$  = paso.

$T_1(N \cdot m)$  = torque reflejado en el motor.

$F_1(N)$  = carga.

$F_{p1}(N)$  = pre-carga.

$e\%$  = eficiencia.

$T_f(N \cdot m)$  = torque de fricción.

$F_t(N)$  = fuerza de fricción.

$\mu = 0,01$  coeficiente de fricción.

$W(N)$  = peso.

$J_t(g \cdot cm \cdot s^2)$  = inercia total.

$J_{1s}(g \cdot cm \cdot s^2)$  = inercia del husillo.

$J_m$  = inercia del motor

$g = 980 \text{ cm/s}^2$

Calculo de la inercia reflejada de la carga

$$J_1 = \frac{m}{g} \left( \frac{1}{2\pi P} \right)^2$$

Calculo de la inercia del tornillo

$$J_{1s} = \left( \frac{1}{2} \right) * \left( \frac{\pi \cdot L \cdot \rho \cdot r^4}{g} \right)$$

Inercia total

$$J = J_1 + J_{1s}$$

Torque de la fuerza de fricción

$$T_f = \frac{1}{2\pi} * \frac{\mu \cdot W \cos \theta}{P \cdot e}$$

Torque de la carga reflejado al motor

$$T_L = \frac{F_L}{2 \cdot \pi \cdot P \cdot e}$$

Calculo de la tasa de aceleración

$$V = \frac{X}{t}$$

Accel time

$$Accel\ Rate = Velocidad \div Accel\ time$$

Calculo del torque

$$T_{acc} = (J \cdot Accel\ time) + T_f$$



## **4. PLANTEAMIENTO DE LA MISION**

### **4.1. DESCRIPCION DEL PRODUCTO**

Sistema automatizado de una fresadora convencional, la cual está conformada por tres ejes el X, Y, Z.

La automatización se hará por medio de servomotores los cuales le darán el movimiento a los ejes, estarán controlados por medio de drives y un HMI amigable para que pueda ser manipulada por el operador.

### **4.2. PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING**

- Diseñar la automatización de la fresadora con componentes estandarizados
- El diseño será amigable con el medio ambiente

### **4.3. MERCADO PRIMARIO**

Empresa E.P.I. Ltda., la cual está dedicada a fabricar y comercializar equipos de protección personal.

### **4.4. MERCADO SECUNDARIO**

Empresas del sector industrial donde esté involucrado el mecanizado de diferentes tipos de piezas.

### **4.5. PREMISAS Y RESTRICCIONES**

- Maquina totalmente automática.
- HMI amigable con el operador.

- Sistema de control diseñado para equipos CNC.
- Componentes de marcas reconocidas en el mercado que garantizan su confiabilidad.
- Componentes diseñados para el ahorro de energía y amigables con el medio ambiente.

#### **4.6. PARTES IMPLICADAS.**

##### **4.6.1. Compradores y Usuarios**

- Empresa E.P.I. Ltda.
- Industrias del sector metalmecánico

##### **4.6.2. Distribuidores y Compradores**

- Distribuidor husillos de bolas.
- Distribuidor de servomotores.
- Distribuidor de drives.
- Vendedor de sistema de control para maquinas CNC.

## 5. LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE.

**Tabla 3. Lista de Necesidades**

No	Necesidades	Importancia
1	Que la fresadora se fácil de usar	3
2	Que los componentes sean de excelente calidad	4
3	Que sea segura para los operarios	5
4	Que tenga una pantalla donde se visualice el proceso	5
5	Que el sistema ante una falla se pueda detener	4
6	Que sea de fácil mantenimiento	2
7	Que el sistema cumpla con las normas de seguridad	5
8	Que el costo de la automatización se bajo	3
9	Que la fresadora trabaje con la red eléctrica de la ciudad	4
10	Que el diseño de la fresadora se estéticamente agradable	1

La importancia de cada una de las necesidades es de 1 a 5, siendo 5 el valor máximo de importancia y 1 el mínimo

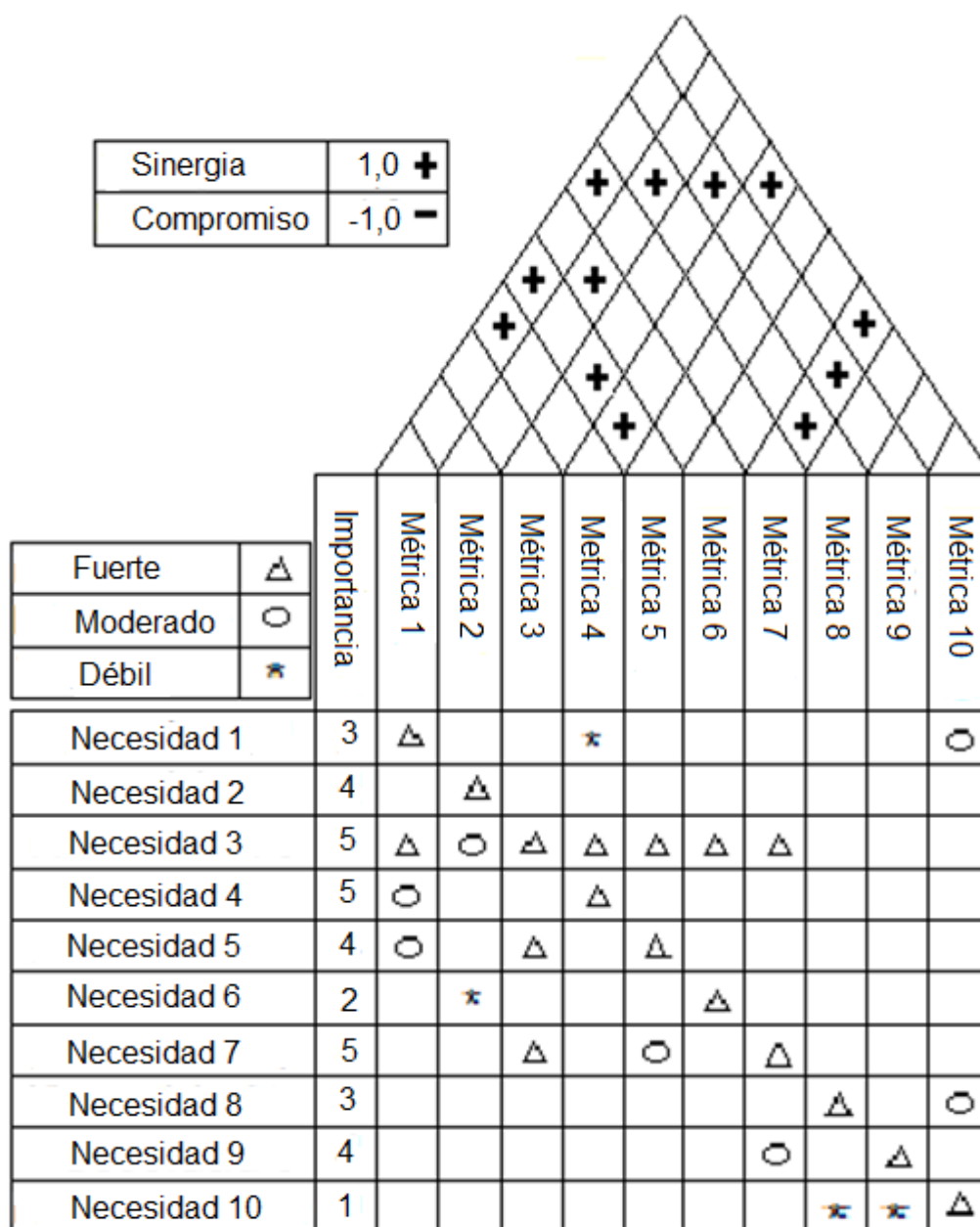
## 6. METRICAS Y SUS UNIDADES.

**Tabla 4. Lista de Métricas y sus Unidades**

No	Relación Necesidades	Métricas	Unidades
1	1,3,4,5	Tenga manual de funcionamiento	No manuales
2	2,3,6	Tiempo de vida maquina	Lista
3	3,5,7	Sistema con diferentes tipos de seguridad	Lista normas
4	1,3,4	HMI amigable con el usuario	No de mandos
5	3,5,7	Numero de alarmas que posee el sistema	Lista
6	3,6	Arquitectura modular	Partes
7	3,7,9	Cumplir con las normas de seguridad	Normas vigentes
8	8,10	Costo de manufactura de una unidad	Pesos
9	9,10	Funciona con la red publica	Voltios
10	1,8,10	El sistema es estético a la vista	Subjetivo

## 7. QFD

Figura 4. QFD



## 8. ANALISIS DE LA QFD

Del grafico de la QFD podemos obtener las principales necesidades que deben plantear en el proyecto

**Figura 5. Lista de Necesidades**



De la anterior figura podemos concluir que para el proyecto de Automatización de una fresadora convencional hay tres necesidades primordiales, las cuales son:

- Que sea segura para los operarios
- Que tenga una pantalla donde se visualice el proceso
- Que el sistema cumpla con las normas de seguridad

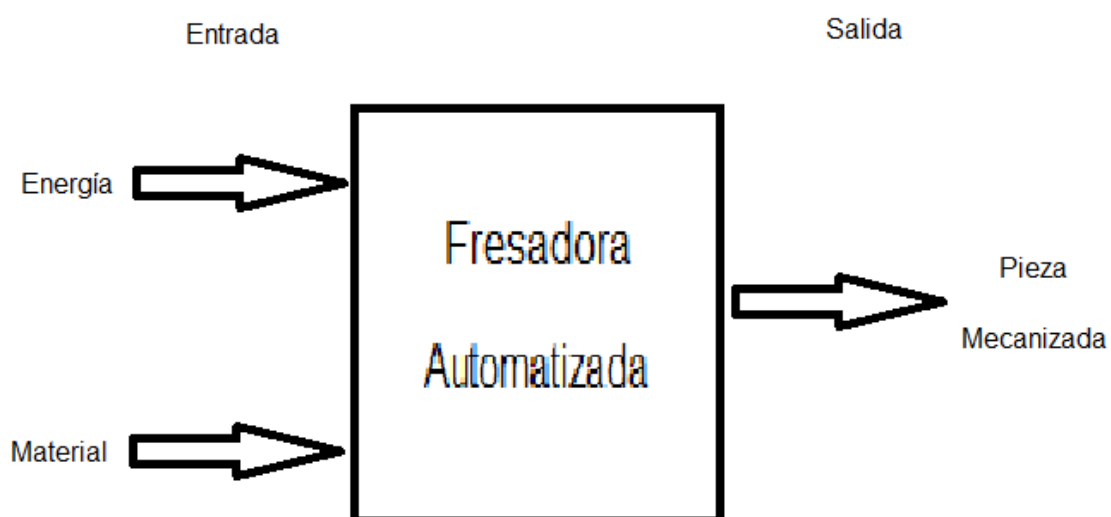
## 9. GENERACION DE CONCEPTOS

### 9.1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Diseño Automatización de fresadora convencional

#### 9.1.1. Caja Negra

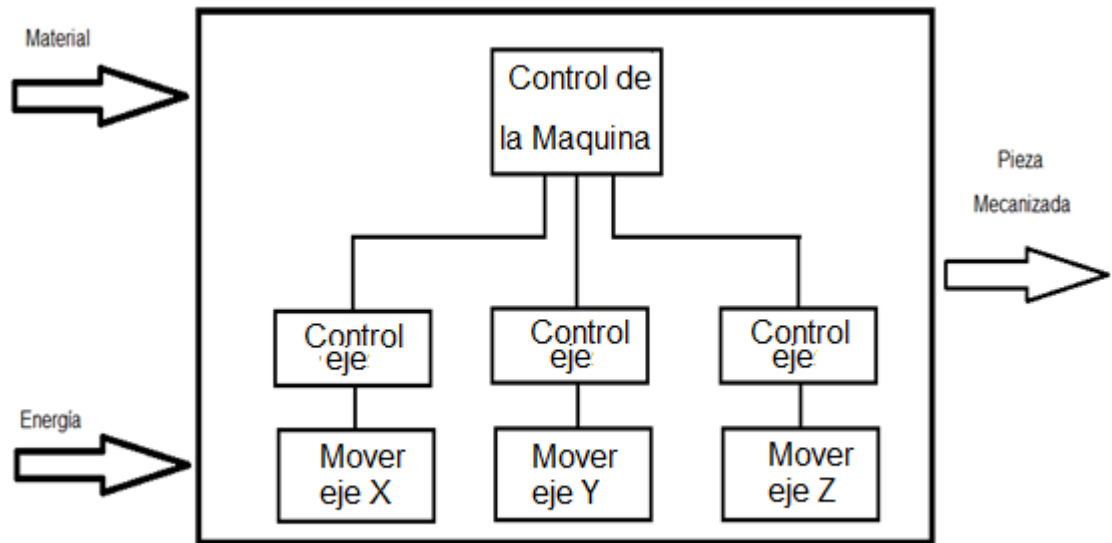
Figura 6. Caja Negra



La anterior figura muestra de forma simplificada del funcionamiento de la fresadora automatizada, donde la maquina es alimentada por energía eléctrica y el material a mecanizar y después del proceso se obtiene la pieza mecanizada

### 9.1.2. Descomposición Funcional

Figura 7. Descomposición Funcional



La anterior figura muestra la descomposición funcional de la automatización de la fresadora la cual está conformada por tres servomotores los cuales le dan el movimiento a cada uno de los ejes, cada servo tiene su respectivo drive el cual realiza el control de la posición y la velocidad de los ejes, estos a sus ves están conectados al PLC el cual tiene una pantalla con su respectivo HMI

### 9.2. BÚSQUEDA INTERNA

Conceptos generados para la sub función: Mover eje X, eje Y y eje Z

- Servomotores de CC
- Servomotores de AC
- Servomotores de imanes permanentes o Brushless.



Conceptos generados para la sub función: Control eje

- Servo Driver
- Microcontrolador
- Controlador Especifico

Conceptos generados para la sub función: Control de la Maquina

- PLC

### 9.3. EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA

Figura 8. Árbol de clasificación de conceptos 1

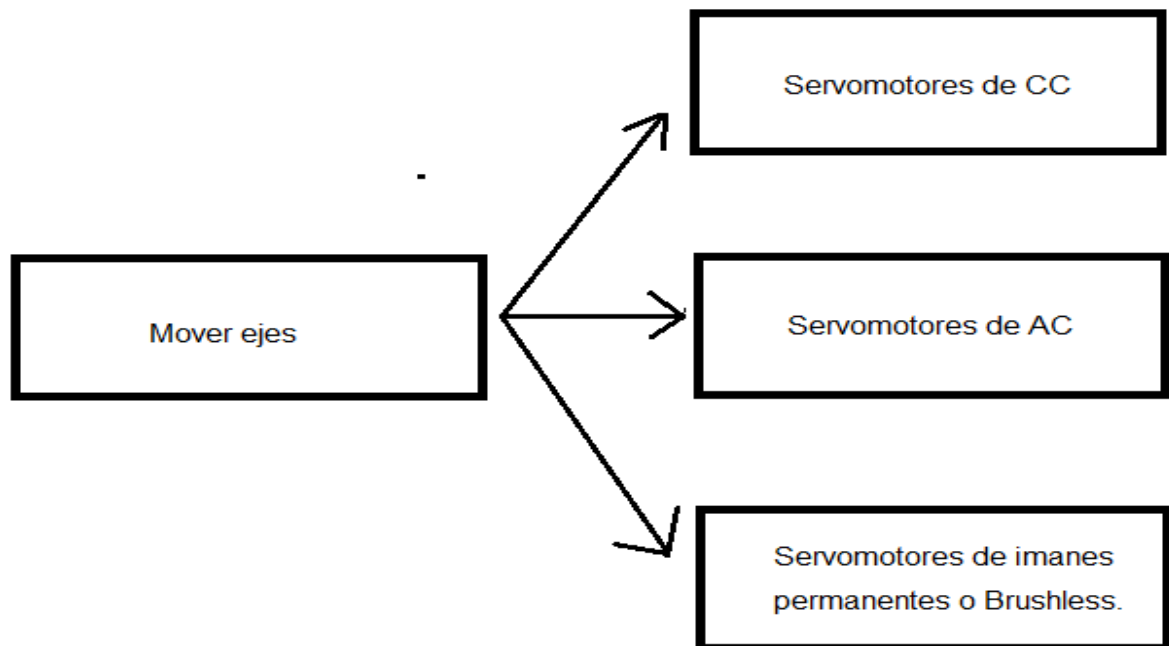


Figura 9. Árbol de clasificación de conceptos 2

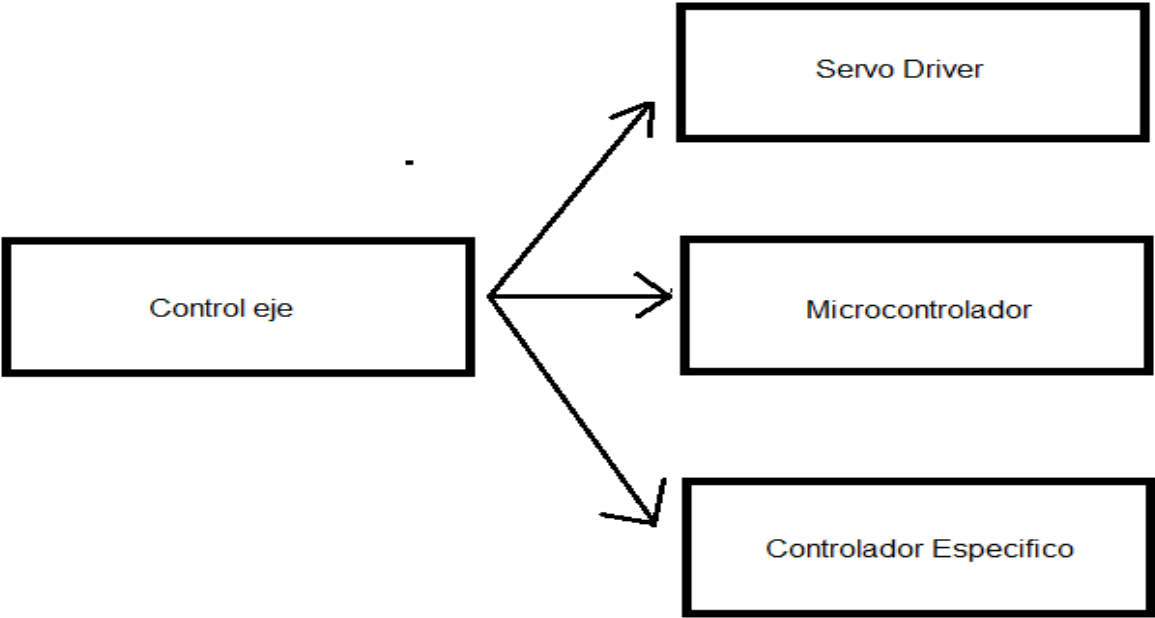
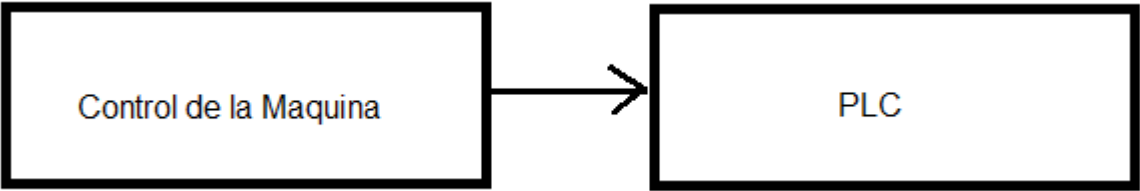


Figura 10. Árbol de clasificación de conceptos 3



#### 9.4. REFINAMIENTO DE LA DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

Figura 11. Refinamiento de la Descomposición Funcional

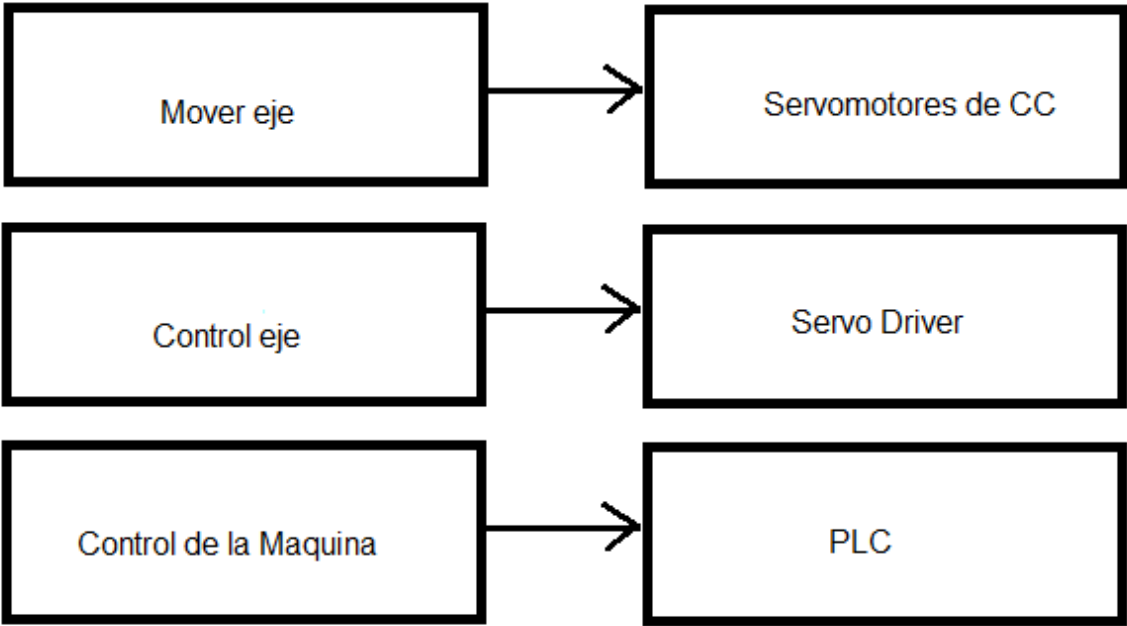


Tabla 5. Tabla Combinación de Conceptos

Mover eje	Control eje	Control de la Maquina
Servomotores de CC	Servo Drive	PLC
Servomotores de AC	Microcontrolador	
Servomotores de imanes permanentes o Brushless	Control Especifico	

$3 \times 3 \times 1 = 9$  Posibles Diseños

## 10. SELECCIÓN DE CONCEPTO

Selección por decisión personal y votación en grupo

**Servomotor CC.** Dispositivo electromecánico que tiene la capacidad de mantener una posición que se le indica por medio de una señal de control. Posee únicamente tres líneas de entrada que son: Tierra, Vcc y control, la línea de tierra, está conectada al negativo de la batería, la de Vcc al positivo y la línea de control espera recibir un pulso positivo cada 20 milisegundos; Dependiendo de la duración de dicho pulso, que puede variar desde 1ms hasta 1,75ms se puede determinar la posición que el servomotor debe alcanzar y mantener

**Servo Driver.** Son unidades de regulación con interfaz de consigna analógica e interfaz PROFIBUS DP así como variantes con funcionalidad de posicionamiento, con frecuencias en el motor de hasta 1400Hz

**PLC.** Es un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación

## 11. METODOLOGIA

Para el diseño de la automatización para una fresadora convencional se deberán desarrollar una serie de etapas las cuales están divididas de la siguiente forma

Etapa1: Estudiar y conocer el funcionamiento de una fresadora convencional

Etapa2: Observar el proceso detallado de la producción de piezas, así se tendrá una opinión más clara de las necesidades del cliente y los aspectos a mejorar. Recolectar información de primera mano a partir de los operarios que intervienen en el proceso, así como escuchar las necesidades planteadas por parte del departamento de producción de la empresa.

Etapa3: Diagnosticar el estado en que se encuentra la fresadora manual para decidir si esta si es viable, y, si cumple las necesidades del cliente y del entorno, si es aplicable con respecto al contexto en el que se encuentra la empresa E.P.I LTDA

Etapa4: Con los resultados obtenidos después de diagnosticar a fondo la fresadora, se procederá a diseñar las mejoras adecuadas. Se harán los cambios necesarios, se le adjuntara funciones que le hacen falta

Etapa5: Con el diseño terminado se debe enfocar hacia la parte de lo que hace falta para poder entrar a desarrollar el proyecto, como lo son: los puntos estratégicos donde se puede instalar, las precauciones que se deben tener antes de iniciar el proceso, los requerimientos y los cuidados que deben tener las personas que van a interactuar con el sistema automatizado.

Finalmente se entregara un informe el cual permitirá a la gerencia de la empresa E.P.I. LTDA y a su departamento de producción, el tomar decisiones de si se ejecuta el diseño

## 12. DESARROLLO DEL PROYECTO

Como información general se estableció que la fresadora convencional a la cual se le realizara la automatización está hecha de un hierro colado más conocido como fundición Gris la cual posee una densidad de  $7150 \frac{Kg}{m^3}$

Para realizar el desarrollo de automatización de la fresadora se dividió en eje X, eje Y, y eje Z

### 12.1. EJE X Y EJE Y

**12.1.1. Peso que soporta el eje X y el eje Y.** Se estimara el peso de la bancada

$$area\ bancada = 0,02125m^2 \quad Volumen\ bancada = 0,0291125m^3$$

$$Desidad\ del\ material = 7150 \frac{Kg}{m^3}$$

$$densidad = \frac{masa}{volumen} \quad \text{Despejando encontramos } masa = Densidad * volumen$$

$$m = 7150 \frac{Kg}{m^3} * 0,0291125m^3 = 208,15Kg$$

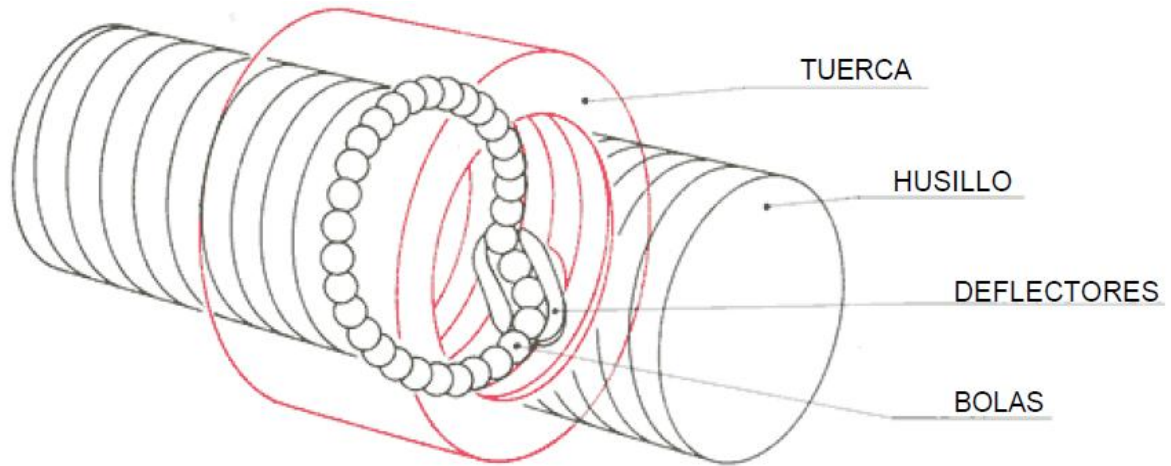
A la masa que se encontró se le sumara  $25Kg$  que es la masa promedio de una prensa de sujeción y  $15Kg$  que será la masa máxima del material a maquinar Por lo tanto la masa total será de  $248,15Kg$

$$W = m * g \rightarrow W = 248,15Kg * 9,8 \frac{m}{s^2} \rightarrow W = 2431,87N$$

La fresadora convencional tiene como una de sus partes principales un husillo de trabajo el cual le sirve de soporte a la herramienta y la dota de movimiento al producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros, al realizar la automatización de la fresadora este husillo se debe cambiarse por un husillo de bolas el cual es un husillo de avance sumamente eficiente en el que la bola realiza un movimiento basculante entre el eje del husillo y la tuerca, con un par de torsión

inferior en una tercera parte o menos al de un husillo deslizante convencional, este producto resulta muy adecuado para ahorrar energía de accionamiento

**Figura 12. Husillo de Bolas**



## 12.2. SELECCIÓN HUSILLO DE BOLAS

Para la selección del husillo de bolas más adecuado para el eje X de nuestro proyecto recurrimos al fabricante Thomson, por medio de su página web y una herramienta de selección que ellos poseen, se ingresamos los siguientes datos:

Carga= $2431,87N$

Coeficiente de fricción= el valor típico para un husillo de bolas es de 0,001

Requisitos de vida= Digitar la esperanza de vida que se requiere representados en la longitud de viaje en mm para la serie de métricas, para el eje X es de  $400mm$  y para el eje Y es  $300mm$

Velocidad= Tasa de recorrido lineal está en  $mm / min$  para la métrica, realizado un estudio a los tipos de mecanizados realizados por la empresa se determinó que la velocidad máxima debería ser de  $800 \frac{mm}{min}$

Longitud del tornillo= para el eje X esta longitud será igual a la longitud de la bancada que es de  $1370\text{mm}$  y para el eje Y esta longitud será igual a  $400\text{mm}$

Para terminar se determino un tipo de soporte simple en cada punta del eje

Los primeros resultados obtenidos con la herramienta de selección nos indican que el husillo de bolas debe tener:

Un diámetro mínimo de  $= 10,1\text{mm}$

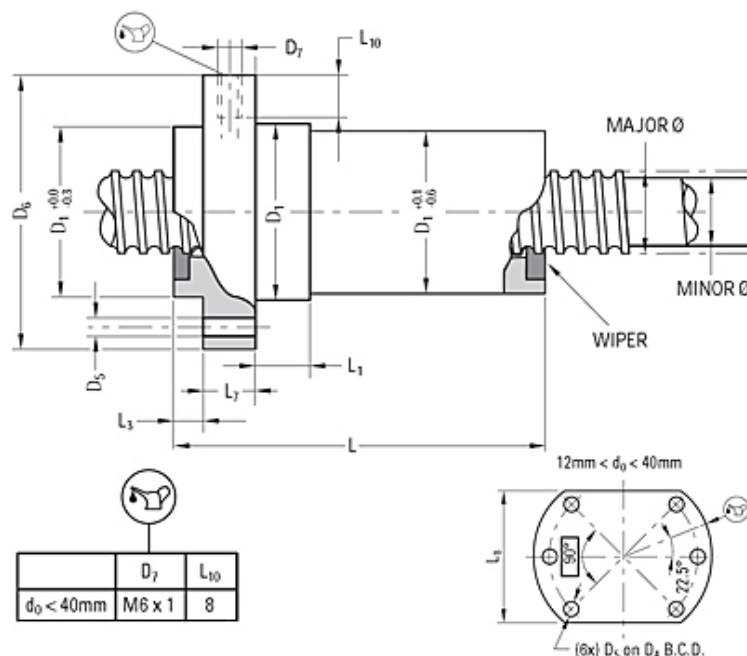
$\text{RPM} = 4500\text{rpm}$

$\text{Vida} = 1.165.717.808.461.380\text{ mm}$

Factor de seguridad= 516.597

Después de terminada la selección encontramos que el husillo de bolas que más se adecua al eje X y al eje Y es el 7832777 Metric Fineline Rolled FK Ball Nut





### Tabla 6. Datos Técnicos Husillo de Bolas

Producto	
Tuerca de estilo	Integral Flange
Diámetro x paso:	16 x 5 mm
Categoría de producto:	Precision Rolled - Metric
Producto de la serie:	Metric Fineline Rolled FK Ball Nut
Número de circuitos:	3
RENDIMIENTO	
Capacidad estática (N):	10900
Eficiencia (%):	90
Precisión de paso (m/300mm):	23
Máxima reacción axial	0.09
Carga dinámica (kN):	9.5
Par dinámico para elevar 1 kN (N-m):	0.885
Bloqueo de carga:	No
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Máxima Temperatura (C°)	80
TORNILLO	

Diámetro nominal o BCD (mm):	16
Paso (mm):	5
Diámetro de la raíz (mm):	12.7
Max longitud del tornillo (mm):	3000
Longitud del tornillo estándar (mm):	2997
Material del tornillo	Acero carbono
Estándar de P / N:	7832776-P5
Peso de tornillo (kg / m):	1.2
<b>TUERCA</b>	
Material de la tuerca	Acero carbono
Peso de tuerca (kg):	0.3

### 12.3. RECOMENDACIONES MONTAJE HUSILLO DE BOLAS

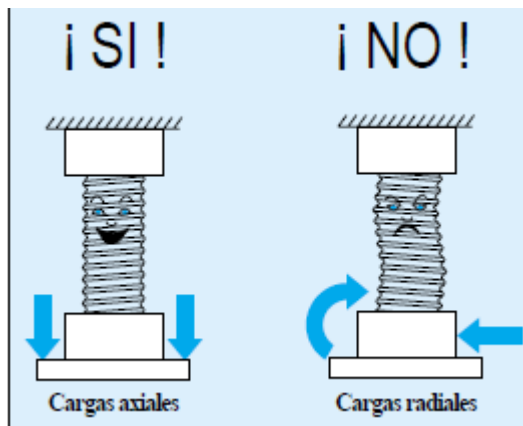
Después de tener el husillo de bolas hay que seguir una serie de recomendaciones que nos da el fabricante en el procedimiento de montaje:

Los husillos de bolas son componentes de precisión y deberían manipularse con cuidado para prevenir golpes; si se almacenan fuera del embalaje original deben depositarse sobre soportes trapezoidales de madera o plástico y debe prevenirse el pandeo.

Los conjuntos husillo/tuerca se envían envueltos en un tubo de plástico muy duro que los protege de materiales externos y de la posible polución. Deberían mantenerse en dicho embalaje hasta que vayan a ser utilizados.

**12.3.1. Cargas radiales y puntuales.** Cualquier carga radial o puntual en la tuerca sobrecargará alguna de las superficies de contacto, ello provocará una reducción de la duración de vida.

**Figura 14. Cargas Radiales y Puntuales**



**12.3.2. Alineación.** Deberían utilizarse componentes de guiado lineal para asegurar una correcta alineación y evitar cargas no axiales.

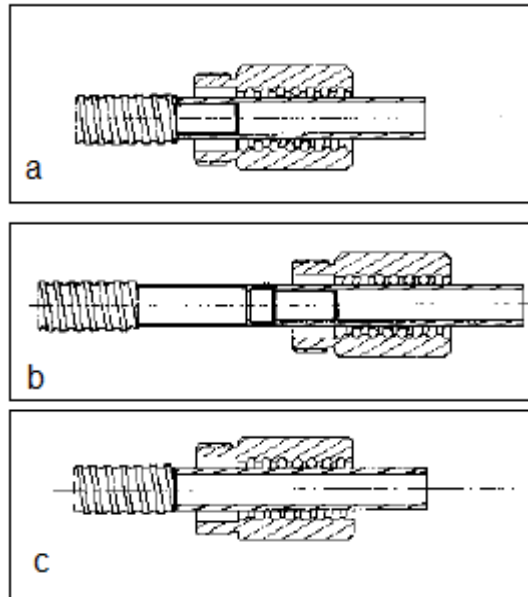
Debe revisarse el paralelismo eje/husillo con los sistemas de guiado. Si no son posibles sistemas de guiado externo, se sugiere incorporar una tuerca con montaje en muñón o cardan y el eje del husillo en rodamientos autoalineables; el montaje del husillo en tensión ayuda a alinear correctamente y elimina el pandeo.

**12.3.3. Lubricación.** Una buena lubricación es esencial para el correcto funcionamiento del husillo y para obtener una fiabilidad a largo plazo. Antes del envío, el husillo es recubierto por una capa de fluido protector que hace una película.

Esta película protectora no es un lubricante; dependiendo del lubricante seleccionado, puede ser necesario eliminar dicha película antes de aplicar el lubricante (puede haber un riesgo de incompatibilidad), si esta operación se realiza en un ambiente con mucha polución, se recomienda limpiar cuidadosamente todo el conjunto.

**12.3.4. Introducción de la tuerca en el eje del husillo.** Aguantar el mango contra la pista de las bolas (a). Si el mango no llega al diámetro cerca de la pista de la bola, se puede utilizar cinta adhesiva (b) o mantener el mango contra el extremo no mecanizado (c).

**Figura 15. Introducción de la tuerca en el eje del husillo**



**12.3.5. Arranque del husillo.** Una vez el conjunto ha sido limpiado, montado y lubricado, se recomienda colocar la tuerca haciéndola recorrer completamente varias veces su carrera a baja velocidad; con el fin de comprobar el correcto posicionamiento de los limitadores o del mecanismo de retorno antes de aplicar la carga y velocidad total.

Después de tener seleccionado el husillo de bolas se proceso a seleccionar el servomotor más adecuado para la aplicación del proyecto.

## 12.4. CÁLCULOS PARA HALLAR TORQUE EJE X Y EJE Y

**12.4.1. Velocidad del Motor.** Para los maquinados que se realizan en la fresadora se determino una velocidad de:

$$v = 10 \text{ m}/\text{min}$$

Del husillo de bolas seleccionado obtenemos el paso que es de:

$$p = 0,005\text{m} \rightarrow p = 200 \text{ rev}/\text{m}$$

$$\text{Velocidad motor } (S_m) = v * p$$

$$S_m = 10 \text{ m}/\text{min} * 200 \text{ rev}/\text{m} = 2000 \text{ rpm}$$

### 12.4.2. Torque de Fricción

$$\text{coeficiente de friccion } (\mu) = 0,001$$

$$\text{Carga total}(w) = 2431,87\text{N} \quad \text{Precarga}(F_p) = 2039,87\text{N}$$

$$\text{paso} = 2 \text{ rev}/\text{cm} \quad \text{Eficiencia} = 90\%$$

$$T_f = \frac{\mu * w \cos \theta}{2\pi * p * e} + \frac{F_p * 0,2}{2\pi * p}$$

$$T_f = \frac{0,001 * 2431,87\text{N} * \cos(0)}{2\pi * 200 \text{ rev}/\text{m} * 0,90} + \frac{2039,87\text{N} * 0,2}{2\pi * 200 \text{ rev}/\text{m}}$$

$$T_f = 0,3268\text{Nm}$$

### 12.4.3. Par de carga reflejado en el Servomotor

$$T = \frac{F_p}{2\pi * p * e} \rightarrow T = \frac{2039,87}{2\pi * 200 * 0,9}$$

$$T = 1,8 N \cdot m$$

#### 12.4.4. Cálculo de la inercia reflejada de la carga

$$J = \frac{m}{g} * \left( \frac{1}{2\pi * p} \right)^2$$

$$J_1 = \frac{2431,87 N}{9,8 m/s^2} * \left( \frac{1}{2\pi * 200 rev/m} \right)^2 \rightarrow J_1 = 0,000157 Nm \cdot s^2$$

#### 12.4.5. Cálculo de la inercia del tornillo

$$J_{1s} = \left( \frac{1}{2} \right) * \left( \frac{\pi \cdot L \cdot \rho \cdot r^4}{g} \right) =$$

$$J_{1s} = \left( \frac{1}{2} \right) * \left( \frac{\pi * 1,37 m * 200 rev/m * 0,008 m^4}{9,8 m/s^2} \right) = 0,35 Nm \cdot s^2$$

#### 12.4.6. Inercia total

$$J = J_1 + J_{1s} \quad J = 0,35015 Nm \cdot s^2$$

#### 12.4.7. Cálculo de la tasa de aceleración

$$tasa \ de \ aceleracion = \frac{Sm}{tiempo \ aceleración}$$

$$tasa \ de \ aceleracion \left( rad/seg^2 \right) = \frac{Sm}{9,55} = \frac{100}{9,55} = 10,47 rad/seg$$

$$tasa\ de\ aceleraci3n = \frac{10,47^{rad}/seg}{1,6seg} = 6,54^{rad}/seg^2$$

#### 12.4.8. C3lculo Torque

$$T_{acc} = (J * tasa\ de\ aceleraci3n) + T_f$$

$$T_{acc} = (0,35015\ Nm\ s^2 * 6,54^{rad}/seg^2) + 0,3268Nm$$

$$T_{acc} = 2,61\ N\ m$$

El torque que se hayo se multiplica por dos que es un buen factor de seguridad

$$T_{acc} = 2,61\ N\ m * 2 = 5,22\ Nm$$

#### 12.5. Eje Z

Se tomara como eje Z el porta herramientas de la fresadora, como este est3 sujeto al brazo fijo central de la herramienta no es posible acondicionarlo para incorporarle un husillo a bolas lo cual no le permite un avance suave ni realizar trabajos repetitivos por esta raz3n se realizo un estudio de los maquinados que se realizan con la fresadora convencional y se decidi3 realizar el acople del servomotor al porta herramientas por medio del sistema de pi3ones helicoidales y cremallera lo cual permitir3 que la empresa continu3 con la producci3n normal, cabe anotar que este sistema no permitir3 realizar mecanizados donde se requiera repetitibilidad ya que esto ocasionara un desgaste excesivo y juego en el husillo del porta herramientas

**12.5.1. C3lculo de la carga en el eje Z.** Estimamos el peso de la porta herramientas el cual tiene forma cil3ndrica y est3 hecho de fundici3n gris

##### 12.5.1.1. C3lculo del volumen Porta Herramientas

$$volumen = \pi * r^2 * h$$

$$volumen = \pi * 0,05^2 m * 0,4m$$

$$volumen = 0,003141m^3$$

$$Desidad\ del\ material = 7150 \frac{Kg}{m^3}$$

$$densidad = \frac{masa}{volumen} \text{ Despejando encontramos } masa = Densidad * volumen$$

$$m = 7150 \frac{Kg}{m^3} * 0,003141m^3 = 22,5Kg$$

$$W = m * g \rightarrow W = 22,5Kg * 9,8 \frac{m}{s^2} \rightarrow W = 220,5N$$

#### 12.5.1.2. Cálculo del momento de inercia porta herramientas

$$I = \frac{m}{2} r^2$$

$$I = 0,0281 Kg\ m^2$$

#### 12.5.1.3. Velocidad lineal porta herramientas

$$V = 1,66 \frac{m}{s}$$



#### 12.5.1.4. Velocidad angular porta herramientas

$$W = \frac{V}{r} \rightarrow W = 33,2 \frac{rad}{s}$$

#### 12.5.1.5. Aceleración angular porta herramientas

$$\alpha = \frac{W}{1s} \rightarrow \alpha = 33,2 \frac{rad}{s^2}$$

#### 12.5.1.6. Calculo del torque

$$T_o = I * \alpha \rightarrow T_o = 0,9338 Nm$$

El torque que se hayo se multiplica por dos que es un buen factor de seguridad

$$T_o = 0,9338 Nm * 2 = 1,8676 Nm$$

### 12.6. SELECCIÓN SERVOMOTOR

Para el torque hallado en el eje X y en el eje Y se selecciono el servomotor 1FL5062 y para el eje Z se selecciono el servomotor 1FL5060, del fabricante siemens con los siguientes datos técnicos

**Figura 16. Servomotor 1FL5**



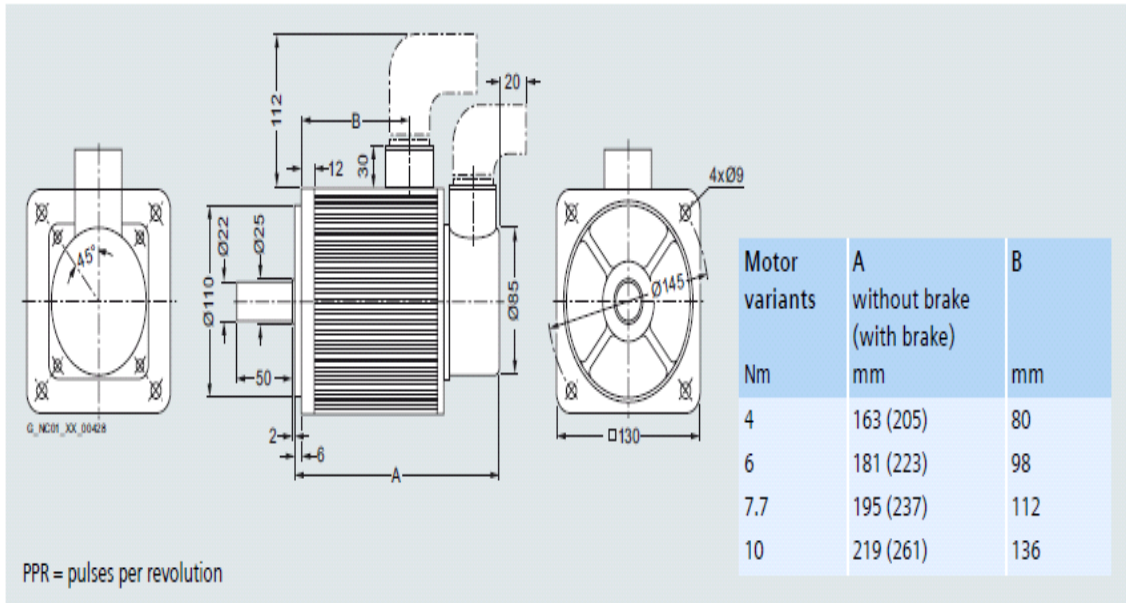
El servomotor 1FL5 proporciona el rendimiento dinámico requerido por las máquinas herramientas.

- 4 tipos de motor de 4 Nm, 6 Nm, 7,7 Nm y 10 Nm
- Velocidad nominal de 2.000 rpm
- TTL Integrado codificado con 2500 PPR (13-bits de resolución a través de la multiplicación electrónica del módulo CPM60.1)
- Grado de protección IP54, refrigeración natural
- Freno opcional
- Un diseño de conexión robusta con conectores soldables
- Cables pre montados de 5 m o 10 m de longitud

**Tabla 7. Datos Técnicos Servomotor 1FL5**

Datos Técnicos		
Servomotor	1FL5060	1FL5062
Torque		
Torque Nominal	4 Nm	6 Nm
Torque Máximo	8 Nm	12 Nm
Potencia Nominal	0,8 Kw	1,2 Kw
Velocidad Nominal	2000 rpm	
Encoder	Encoder TTL con 2500 PPR	
Tipo de Construcción 60034-7 (IEC 60034-7)	IM B5 (IM V1, IM V3)	
Grado de Protección 60034-7 (IEC 60034-7)	IP65	
Enfriamiento	Refrigeración Natural	
Eje de extensión de acuerdo a DIN 748-3	Eje con chaveta	
Revestimiento	Negro	
Aislamiento del estator 60034-1 (IEC 60043-1)	Temperatura 130 (B)	
Temperatura Ambiente		
Almacenamiento/Transporte	-20 ... 80 °C	
Operación	0 ... 45 °C sin reducción de potencia, > 45 ... 55 °C con reducción de potencia al 70%	
Pérdida de Potencia	36 w	47 w
Momento de Inercia	11.01 x 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>	15.44 x 10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>
Dimensiones		
Dimensiones al Borde	130 mm	130 mm
Longitud (con / sin freno)	221/263 mm	239/281 mm
Peso (sin / con freno)	6/8.6 kg	7.6/10.2 kg
Certificación	CE	

**Figura 17. Plano Servomotor 1FL5**



## 12.7. SELECCIÓN DRIVE

Siemens recomienda utilizar para los servomotores 1FL5060 y el 1FL5062 el SINAMICS V60 servo drive, el cual ha sido especialmente diseñado para hacer frente a aplicaciones sencillas servo, donde la atención se centra en la eficiencia de costos.

Con la interfaz de pulso / dirección, constituye la solución perfecta para tareas de posicionamiento básico en conjunto con los controladores lógicos programables, tales como SIMATIC S7-1200 o el SIMATIC S7-200.

**Figura 18. Drive SINAMICS V60**



Los datos de rendimiento están perfectamente armonizados con servomotores 1FL5.

- Módulo compacto con alimentación, inversor y circuito cerrado de control de posición de los ejes servo
- La tensión de alimentación de 220 V ... 240 V 3 AC
- 4 versiones con las corrientes de salida de 4 A, 6 A, 7 A y 10 A
- Pulso / dirección de consigna de interfaz (5 V señales diferenciales) en el sistema de control de nivel superior
- No hay ventiladores para un funcionamiento sin mantenimiento
- Alto grado de resistencia a través de placas de circuito impreso recubierto}
- Puesta en marcha y configuración de herramientas sin necesidad de PC

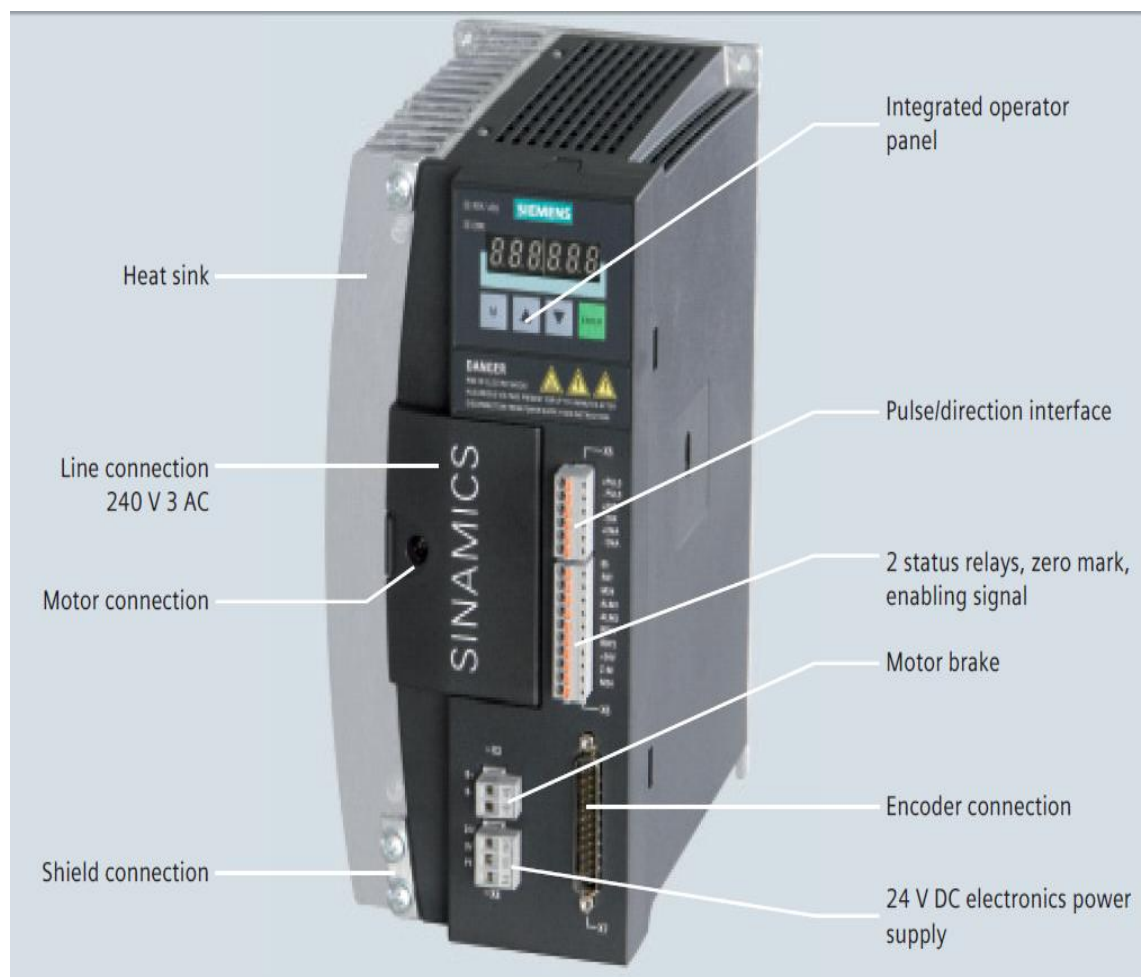
- Puesta en marcha sencilla utilizando el panel de operador integrado, con teclas y display de 7 segmentos
- 200% de la capacidad
- Datos pre configurados del motor ya guardados en el disco
- Certificación CE
- Los motores que se pueden conectar: servomotores 1FL5

**Tabla 8. Datos Técnicos Drive SINAMICS V60**

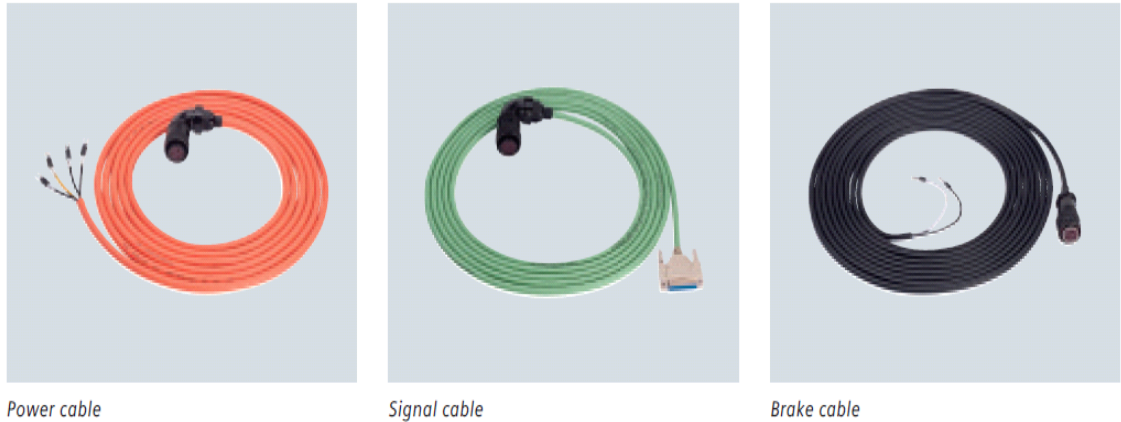
SINAMICS V60		
Tipo de designación	CPM60.1 Controlled Power Module	
Designación	6SL3210-5CC14-0UA0	6SL3210-5CC16-0UA0
Potencia Nominal	0,8 Kw	1,3 Kw
Corriente de Salida		
Corriente Nominal	4 A	6 A
Corriente Pico	8 A	12 A
Voltaje de Entrada	220 ...240 V 3 AC –15 %/+10 %	
Frecuencia de Entrada	50... 60 Hz ±10 %	
Entrada	No estabilizada	
Fuente de Alimentación	24 V DC –15 %/+20 %	
entrada de Tensión pulso / dirección de interfaz		
Valor Nominal	5 V DC	
Rango de Frecuencia	≤ 333 kHz	
Enfriamiento	Refrigeración Natural	
Temperatura Ambiente		
Almacenamiento / transporte	–20 ... 80 °C	
Operación	0 ... 45 °C sin reducción de potencia, > 45 ... 55 °C con reducción de potencia 70 %	
Humedad Relativa	< 95 % (sin condensación)	
Altura	Hasta 1000 m sin reducción de potencia, > 1000 ... 2000 m con reducción de potencia 80 %	
Sección del conductor, max	2.5 mm^2	
Los motores que se pueden conectar	1FL5	
Grado de protección	IP20	
Evaluación Encoder	TTL encoder con 2500 PPR (13-bit resolución mediante la multiplicación electrónica)	

capacidad de sobrecarga	200 %	
Pérdida de Potencia	36 W	47 W
Aire de refrigeración necesario	0.005 m^3/s	0.005 m^3/s
Nivel de presión acústica LpA (1 m)	< 45 dB	
Dimensiones		
Ancho	106 mm	106 mm
Altura	226 mm	226 mm
Profundidad	200 mm	200 mm
Peso	2.63 kg	2.63 kg
Certificación	CE	

**Figura 189. Conexiones SINAMICS V60**



**Figura 19. Cables conexión**



## **12.8. SELECCIÓN DEL PLC HMI**

Como se seleccionaron servomotores y servo drive del fabricante siemens se tomo la decisión de seleccionar el PLC HMI sinumerik 802S base line, es el CNC de siemens para aplicaciones de menor rendimiento, es ideal para tornos y fresadoras con un máximo de 3 ejes

Sus principales Características son:

- La programación y operación es muy fácil
- Sin mantenimiento
- Diseño compacto



**Figura 20. Sinumerik 802S base line**



La línea de base de sinumerik 802S está dimensionado para un máximo de tres ejes de avance. Los ejes de alimentación están vinculados a los reguladores de sinamics V60 a través de una interfaz de pulso / dirección.

Los husillos se controlan por medio de una interfaz analógica ( $\pm 10$  V); Todos los componentes de control, incluyendo el panel de control de la máquina y de entrada / salida, se integran en el panel del operador.

El PLC integrado es una perfecta adaptación a la máquina herramienta y está programado con una herramienta de PC a través de un programa escalera

#### **12.8.1. Características sinumerik 802S base line**

Es el CNC perfecto para aplicaciones sencillas:

De entrada el sistema de control es perfecto

- Fácil de operar y programar
- Herramientas y piezas de trabajo se puede configurar rápida y fácilmente
- Programación en ciclo y el apoyo del contorno.

El sistema CNC es para un amplio rango de aplicaciones:

- Controla hasta 3 ejes
- Completo, compacto tamaño de la unidad
- Libre de mantenimiento
- Una fácil conexión a la V60 sinamics por medio de la interfaz de pulso / dirección (ejes de avance) o  $\pm 10$  V analógico
- Solución estándar con soporte de servicio en todo el mundo para numerosas aplicaciones diferentes.

La línea sinumerik 802S base que ofrece muchas ventajas:

- Fácil programación del CNC en la norma DIN 66025
- Fácil medición de la herramienta
- Elementos de contorno para la programación gráfica
- Ciclo de soporte para aplicaciones complejas
- Compensación de errores de husillo, la inercia y la medición de los errores del sistema para obtener resultados exactos de mecanizado.

#### Ciclos de Fresado:


- Taladrado profundo
- Roscado con / sin mandril de compensación
- Serie de agujeros – círculo
- Serie de agujeros - línea recta
- Taladrado, avellanado
- Mecanizado de ranuras y cajas circulares

#### Otras características:

- Puede procesar incluso los programas grandes de CNC sobre el RS 232 C (V.24)
- Manual de la máquina
- Función Teach-in (opcional) - la introducción del programa por medio de volantes o las teclas de dirección
- Muy robusto, gracias a su diseño compacto
- Alto rendimiento de PLC - para una perfecta adaptación a la máquina herramienta (compatible con SIMATIC S7-200)

### 12.8.2. Programación sinumerik 802S base line

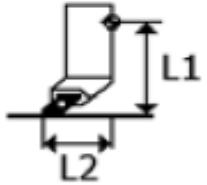
Figura 21. Programación

PR	RESET	JOG	10000	INC
				DEMO1.MPF
Input form: Circle / Circle				
G2 G3	G90	G17	E:X	ABS U
POI: tang.			Y	
			M1:X	ABS U
			Y	
			R1	
			M2:X	ABS U
			Y	
Value of 1st axis of contour endpoint				
▲				
G2/G3		G17/G18	POI	OK
		G19		

- Programa de entrada de acuerdo con DIN 66025
- Alto nivel de elementos del lenguaje y los parámetros de R para la programación modular y eficiente
- Programación gráfica con los elementos de contorno
- Integrado de torneado y fresado ciclos con pantalla gráfica

### 12.8.3. Herramienta de Gestión

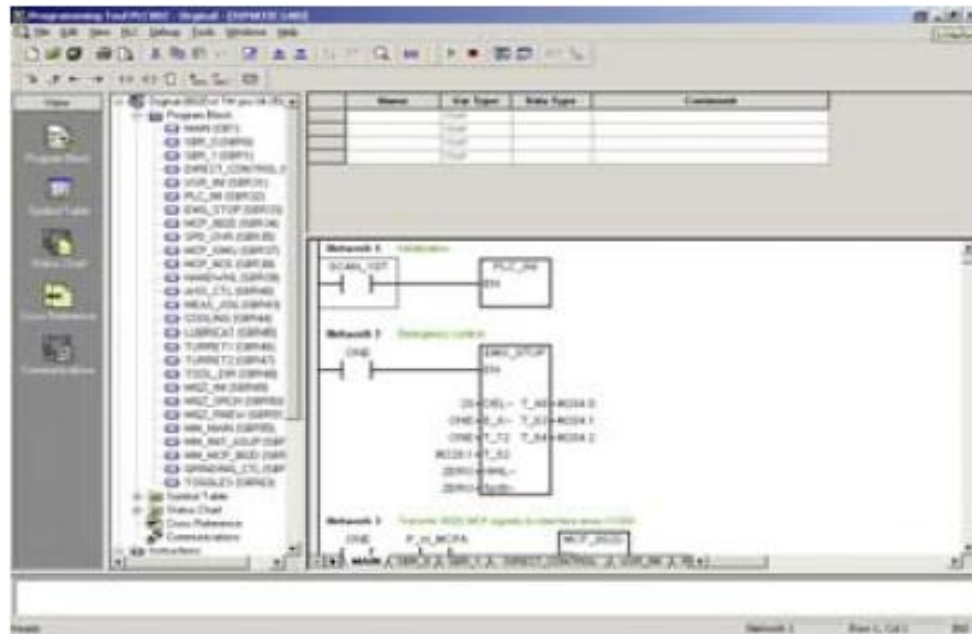
Figura 23. Herramienta de Gestión

PA	RESET	JOG	10000	INC
				DEMO1.MPF
Tool compensation data				T type: 500
No. c. edges :1		T No : 1		
D -- number :1		Cut edge pos.:1U		
	nn	Geometry	Wear	
	Leng.1	0.000	0.000	
	Leng.2	0.000	0.000	
	Radius	0.000	0.000	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>◀</span> <span>▶</span> </div>				
<< D		D >>		<< T    T >>    Search

- 15 herramientas y 30 filos de corte
- Herramienta de corrección de la longitud
- Herramienta 2D compensación de radio
- Ciclos de medición de la pieza de trabajo simple y dimensiones de herramienta

#### 12.8.4. Programa PLC

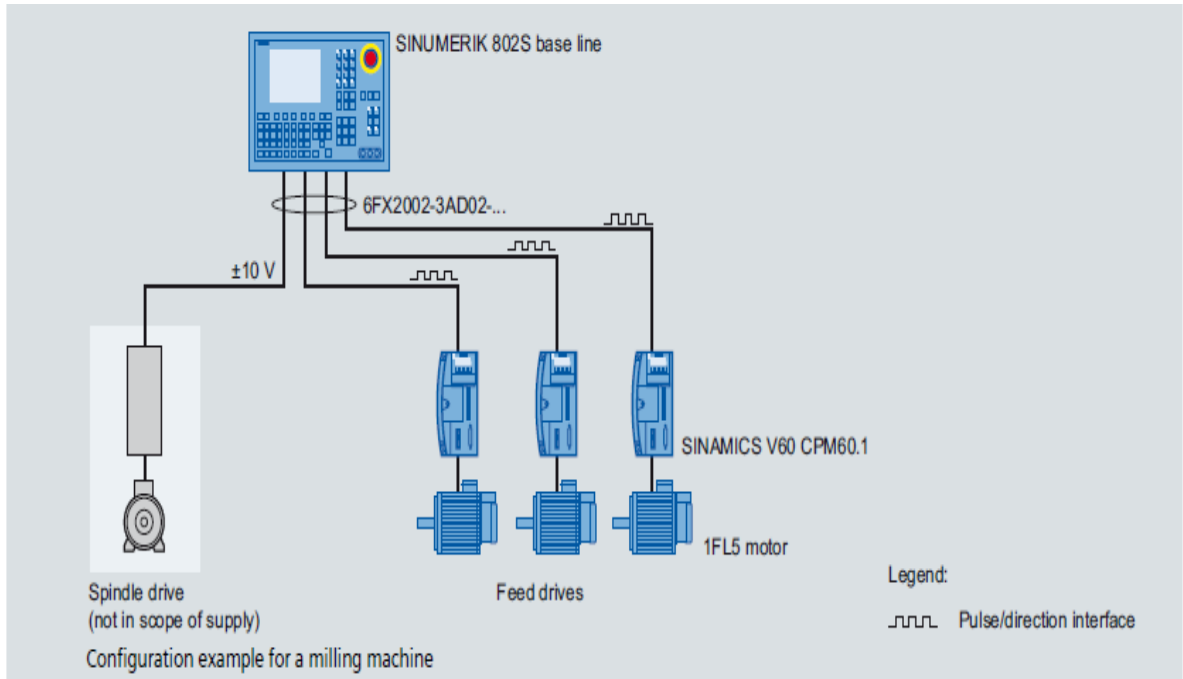
Figura 224. Programa Escalera



- Integración de alta velocidad basado en PLC SIMATIC S7-200
- Hasta 4000 instrucciones
- Programación con la notación de diagrama de relés (LAD)
- Fácil de usar herramientas de programación suministradas con el sistema de control.
- Herramienta de programación compatible con Inglés y Alemán

## 12.9. INTEGRACION COMPONENTES

Figura 235. Integración Componentes



### 12.9.1. Beneficios

- 3 ejes servo (pulso / dirección de la interfaz, señales de diferencia de 5 V) y un eje ( $\pm 10\text{ V}$ )
- Pantalla plana LCD de 8 " (monocromo)
- 256 KB de memoria de programa
- Volante de función (máx. 2 volantes)
- Interfaz RS-232C
- Operador del panel frontal clasificado para un grado de protección IP65
- 12 claves de los clientes con LED para la asignación gratuita y etiquetado por el usuario

- 48 entradas digitales integradas y 16 salidas digitales integradas
- Módulo de extensión con 16 entradas digitales y 16 salidas digitales (máx. 2 módulos)
- Botón de parada de emergencia puede ser integrado en el panel
- PLC con LAD (Ladder Diagram) de programación
- función para su ejecución sin problemas del programa CNC
- Hasta 15 herramientas, 30 filos de corte
- Función de calculadora de bolsillo
- Teach-in (opcional)
- Servo herramienta de seguimiento para el diagnóstico de la unidad
- Interfaz de usuario con 11 idiomas (Inglés, chino simplificado, checo, francés, alemán, húngaro, italiano, polaco, ruso, español y turco)
- 2 idiomas conmutables en línea sin necesidad de reiniciar



### 13. DISEÑO 3D

Figura 246. Diseño 3D Vista Frontal

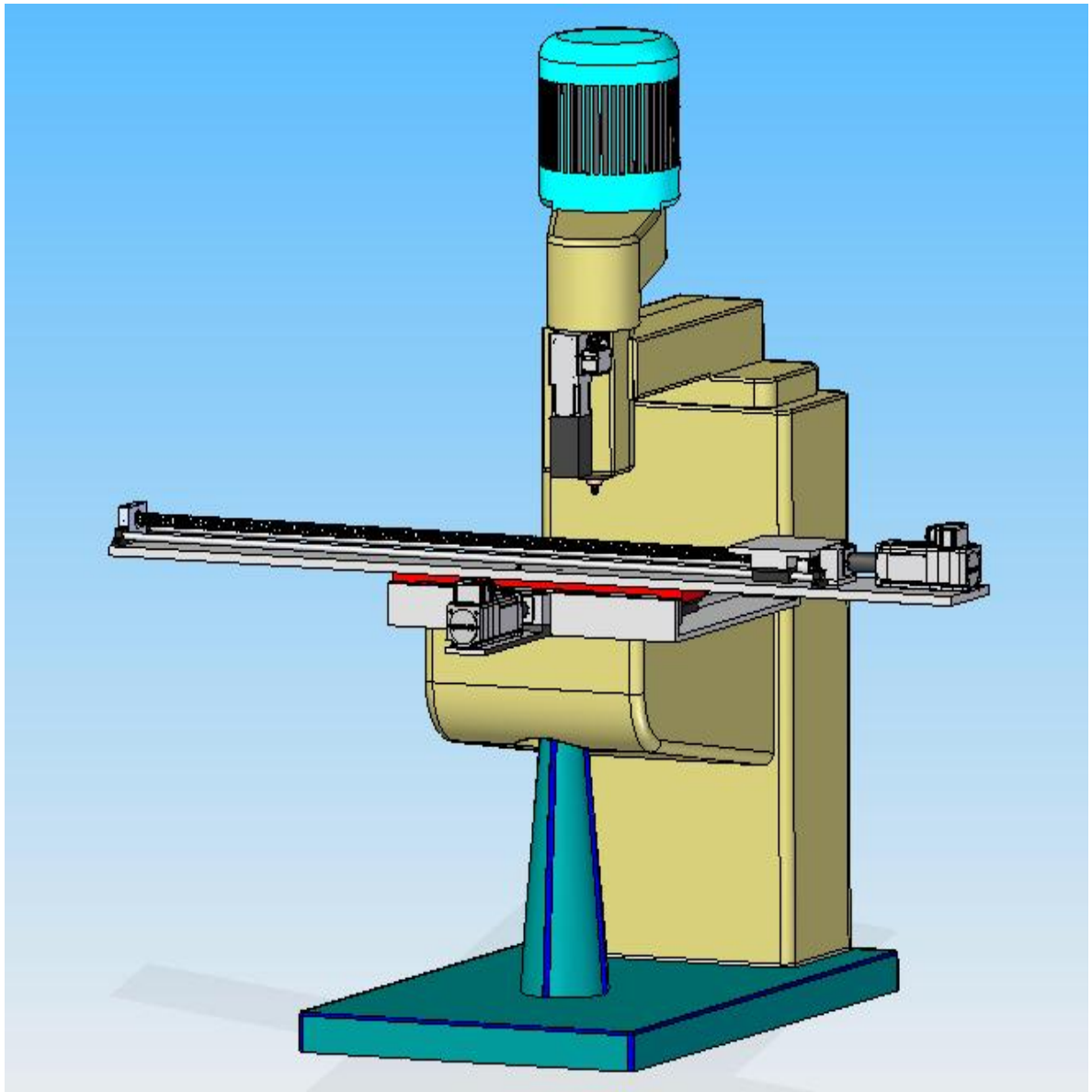


Figura 25. Diseño 3D Vista Superior

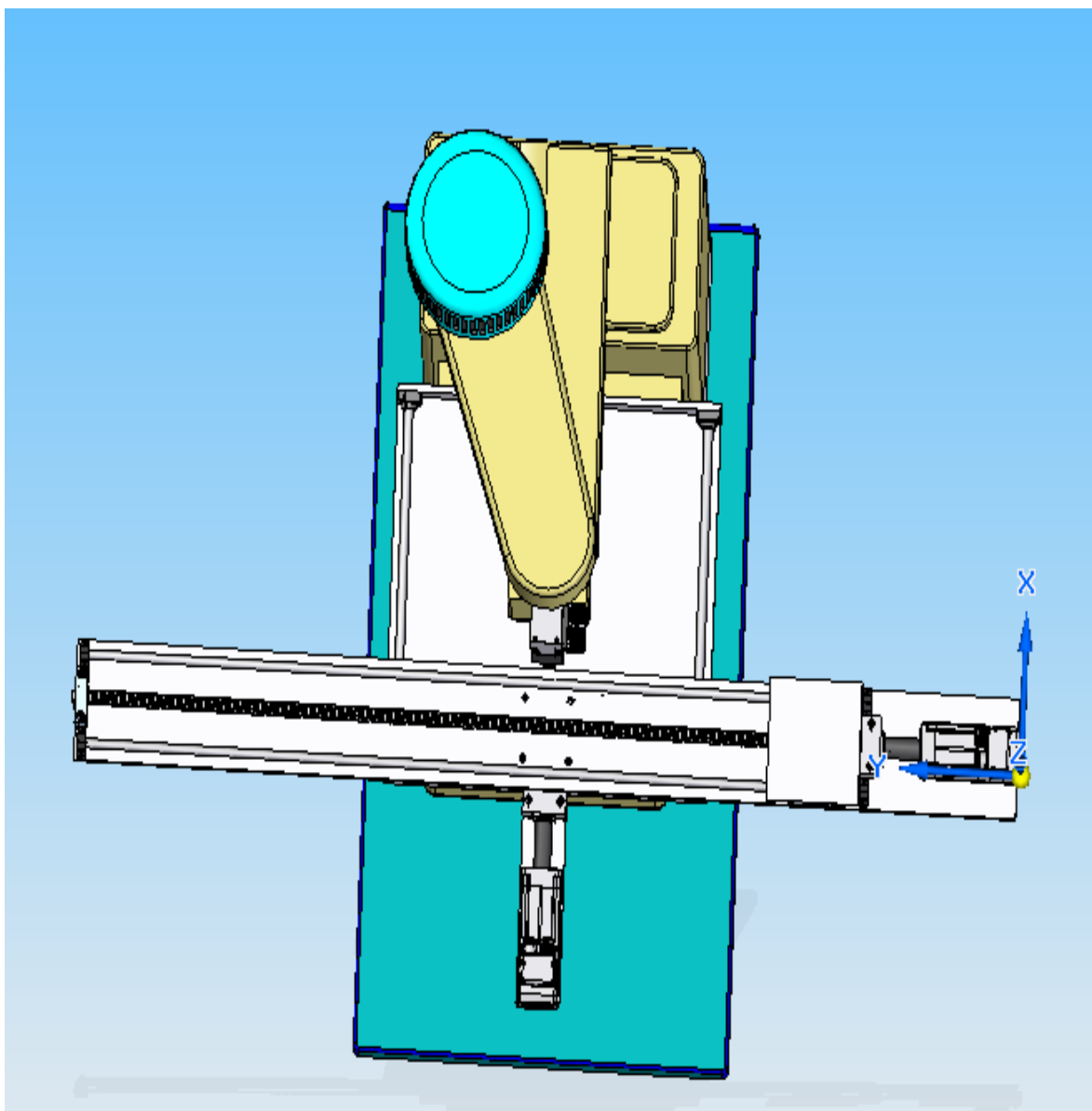
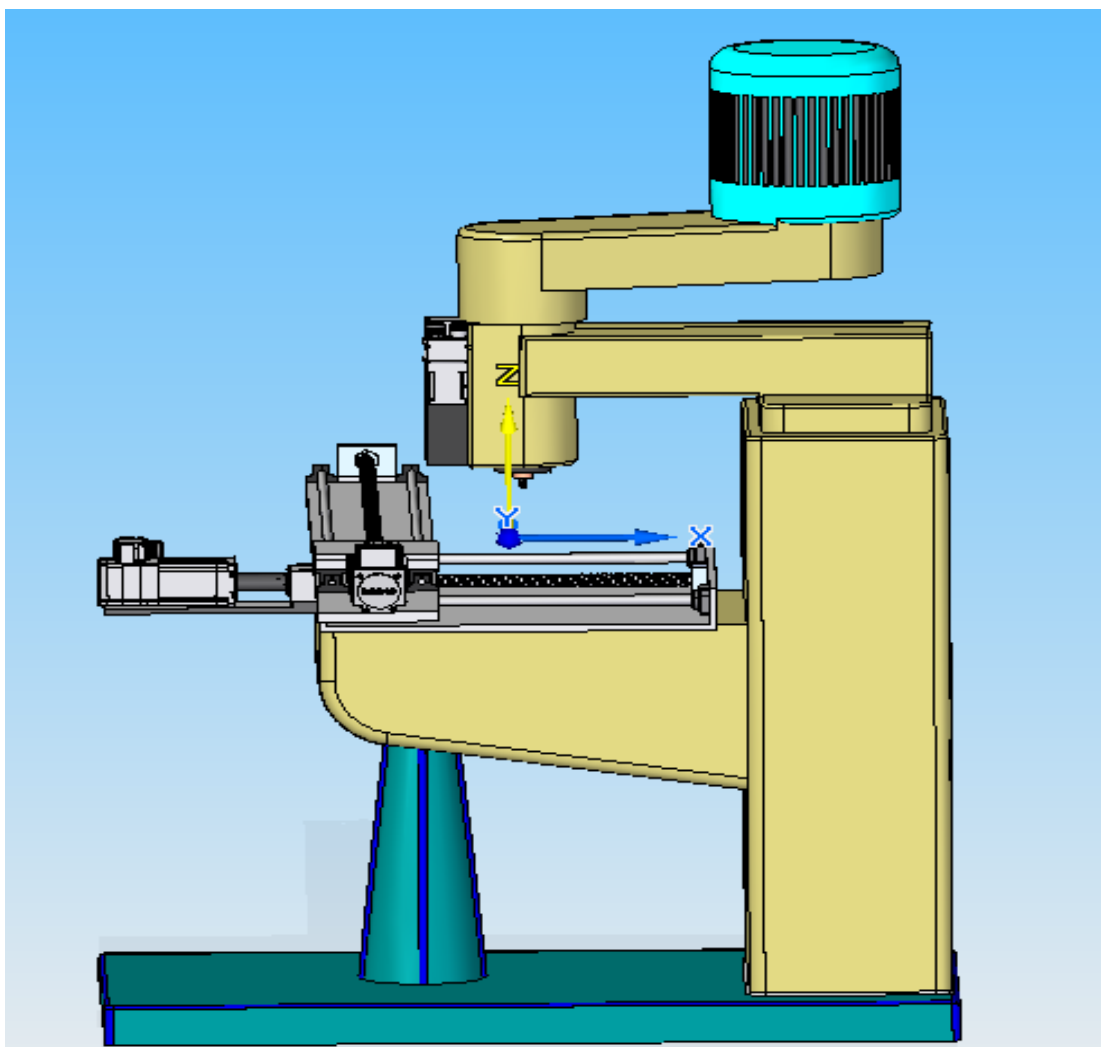


Figura 26. Diseño 3D Vista Lateral



## 14. CONCLUSIONES

Con el estudio del plan tecnológico de EPI LTDA, las necesidades y métricas se logro determinar que la seguridad de los operarios, que el sistema cumpla las normas de seguridad y una visualización del proceso son las necesidades a tener en cuenta al realizar el proyecto

Por medio del material en el que se encuentra fabricada la fresadora convencional se logro estimar la masa de cada uno de sus ejes y con esto poder hallar el torque necesario para poder moverlas

Uno de los aspecto que se tuvieron en cuenta para la realización del diseño de la automatización fue el económico por tal motivo se selecciono la línea SINUMERIK 802S base line ya que esta trae incorporado toda la acción de control CNC necesaria para maquinas y herramientas

Cuando se realice la conexión de todos los componentes (servomotor, driver, PLC sinumerik ) hay unas distancias mínimas: 25 mm entre los módulos drive y de 100 mm a partir de otros componentes del armario de distribución.

Para cualquier desarrollo en maquinas CNC se debe realizar el cambien de los husillos comunes a husillos de bolas ya que estos le permitirá tener repititibilidad y se ahorrara energía de accionamiento

Para tener una buena aproximación del diseño final de la automatización de la fresadora, es necesario realizar en software adecuados prototipos en 3D y así tener una idea del funcionamiento que tendrá la herramienta

Durante el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta muchos concepto del diseño Mecatrónico obteniendo un excelente resultado, validando su aplicación en la industria

Con los planos entregados a EPI LTDA se podrán fabricar las guardas, lo que garantizara la seguridad de los operarios y demás maquinas dentro de la empresa

## BIBLIOGRAFIA

Catalogo Acoples [en línea] USA: Baldor, 2009 [Consultado Diciembre 2011 Enero 2012]. Disponible en Internet: <http://www.baldor.com/pdf/literature/maska0.pdf>

Catalogo AC Servo Motors and Servo Rated Gearheads [en línea] USA: Baldor, 2009 [Consultado Diciembre 2011 Enero 2012]. Disponible en Internet: [http://www.baldor.com/support/literature\\_load.asp?LitNumber=BR1202-E](http://www.baldor.com/support/literature_load.asp?LitNumber=BR1202-E)

Catalogo Husillo de Bolas [en línea] USA: SKF, 2003 [Consultado Septiembre Octubre 2011]. Disponible en Internet [http://melca.com.ar/archivos/Tornillos\\_a\\_bolas.pdf](http://melca.com.ar/archivos/Tornillos_a_bolas.pdf)

Catalogo Precision ball screws [en línea] USA: Thomson, 2008 [Consultado Diciembre 2011]. Disponible en Internet: [http://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/download/document/Precision\\_Ball\\_Screws\\_tade.pdf](http://www.thomsonlinear.com/website/esm/esm/download/document/Precision_Ball_Screws_tade.pdf)

Catalogo Servomotores síncronos y asíncronos [en línea] Alemania: Siemens, 2000 [Consultado Diciembre 2011 Enero 2012]. Disponible en Internet: [http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/mc/Documentsu20Catalogs/da\\_65\\_3\\_sp\\_2004.pdf](http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/mc/Documentsu20Catalogs/da_65_3_sp_2004.pdf)

Catalogo SINAMICS V60 with 1FL5 servomotors [en línea] Alemania: Siemens, 2011 [Consultado Diciembre 2011 Enero 2012]. Disponible en Internet: <https://www.click4business-supplies.com/resources/articles/6zb5411-0as02-0ba0.pdf>

Catalogo Sinumerik 802S base line [en línea] Alemania: Siemens, 2011 [Consultado Diciembre 2011 Enero 2012]. Disponible en Internet: <https://www.click4business-supplies.com/resources/articles/6zb5411-0cb02-0ba0.pdf>

GROOVER, Mikell. Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Pearson Prentice Hall, 1997. 1062 p.

KIEFF, Hans. Computer Numerical Control. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1992. 418 p.

KRAR, Steve. Tecnología de las Maquinas Herramientas. 5 ed. México: Alfaomega, 2002. 880 p.

LOPES, Cardoso Marino. Maquinas Herramientas Apuntes de Taller. Barcelona: Edición UPS, 2003. 232 p.

## ANEXOS

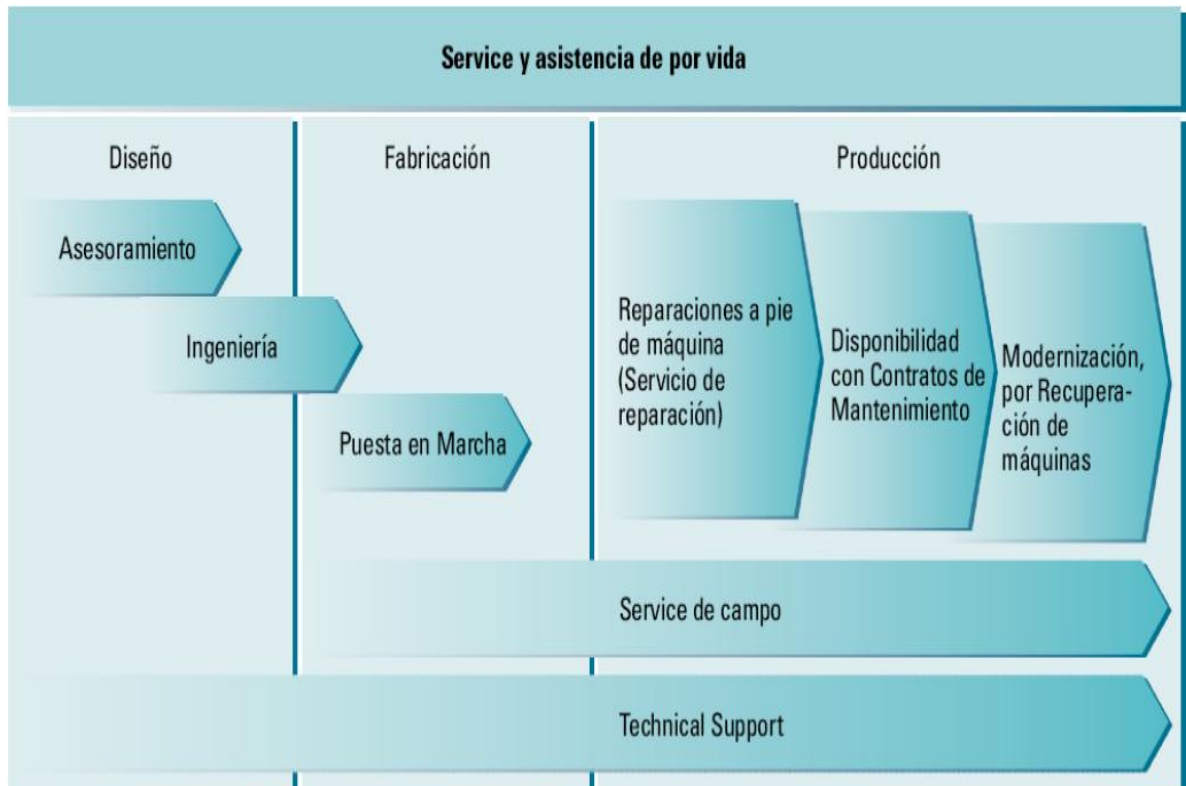
### Anexo A. Cotización Siemens

#### COTIZACION SIEMENS

Producto	Cantidad	Referencia		Precio
Servomotor	1	1FL5060	0AC21-0AG0 \SYNCHRON- SERVOMOTOR P65120440	U\$S 660
Servomotor	2	1FL5062	0AC21-0AH0 \SYNCHRON- SERVOMOTOR P65120440	U\$S 1100
Servo drive	2	SINAMICS V60	6SL3210- 5CC14-0UA0 CPM60. P65120440	U\$S 1105
HMI-Panel operador	1	Sinumerik 802S	6FC8506- 1EX01-0AA0 \SERVICE- LEISTUNG 6FC P65120440	U\$S 1957

## Anexo B. Garantía y asistencia Siemens

### GARANTIA Y ASISTENCIA SIEMENS



A lo largo del ciclo de vida de la máquina, desde la fase de planificación hasta la de una posible actualización de elementos, Siemens le ofrece todos los servicios necesarios

- Asesoramiento e ingeniería competente
- Puesta en marcha
- Reparaciones a pie de máquina
- Servicio de Campo
- Soporte técnico



## Anexo C. Cotización husillos de bolas

### COTIZACION HUSILLO DE BOLAS THOMSON

Producto	Cantidad	Referencia	Precio
Husillo de bolas eje X 1370mm	1	7832777 Metric Finline Rolled FK Ball Nut	U\$S 650
Husillo de bolas eje X 400mm	1	7832777 Metric Finline Rolled FK Ball Nut	U\$S 470

**Soporte Thomson.** En Thomson, deseamos colaborar con usted para que alcance el mayor éxito posible. Desde numerosos servicios educativos hasta innumerables artículos publicados, información y soporte, encontrará la asistencia que necesita para obtener el máximo de todos sus esfuerzos de diseño

Thomson les ofrece a nuestros clientes servicios y soporte en todo el mundo. Nuestra red de distribución y su equipo de soporte están dispuestos a ayudarle a contestar cualquier pregunta sobre su necesidad específica.

Marca del producto	Productos	Período de garantía
Thomson	Rodamientos y guías	12 meses a partir de la fecha de despacho
	Actuadores lineales	
	Cajas de engranajes	
	Embragues y frenos	
	Husillos de bolas	
	Husillos de avance	
	Sistemas, deslizadores y mesas	
	Todos los otros dispositivos mecánicos	